
SILFURBERG OG ÞÁTTUR ÞESS Í
ÞRÓUN RAUNVÍSINDA OG ÝMISSAR
TÆKNI, EINKUM Á 19. ÖLD:
MINNISBLÖÐ OG HEIMILDASKRÁ



LEÓ KRISTJÁNSSON
Jarðvísindastofnun Háskólans
Raunvísindastofnun Háskólans

Önnur útgáfa, nóv. 2007
RH-19-2007

Efnisyfirlit

Útdráttur	9
Summary: Iceland spar and its effects on the natural sciences	13
1 Inngangur	
1.1 Um verkið	17
1.2 Helstu áhrif silfurbergs á raunvísindi	19
1.3 Um heimildir og heimildaskrána	20
1.4 Væntingar	21
2 Um kalkstein, kalkspat, silfurberg og Reyðarfjarðar-eldstöðina	
2.1 Nafngiftir	23
2.2 Megineldstöðin í Reyðarfirði, og silfurbergið þar	24
3 Silfurbergið vekur athygli – sagan fram yfir 1700	
3.1 Söfnun steinda á fyrri öldum – Ole Worm og Íslendingar	25
3.2 Fyrstu heimildir um silfurbergið – Rasmus Bartholin og ritgerð hans 1669	26
3.3 Rannsóknir Huyghens, 1670-90	28
3.4 Newton, um 1700	28
4 Kristallafræði, ljós o.fl., 1700-80	
4.1 Fátt gerðist varðandi tvöfalt ljósbrot	31
4.2 Kristallafræði til 1780	33
5 Rannsóknir Hauys ábóta o.fl. á kristöllum 1780-1830	
5.1 Inngangur	35
5.2 Rannsóknir Hauys o.fl. á kristöllum 1780-1805	35
5.3 Meira um kristallafræði: Hauy o.fl. 1805-22	37
5.4 Tvímynda efni, 1823-40 og síðar	39
5.5 Einsmynda efni, um 1820 og síðar	41

6 Mikið framfaraskeið í ljósfræði 1800-15	
6.1 Bretland – atburðir í ljósfræði o.fl. 1800-10	43
6.2 Raungreinar blómstra í Frakklandi 1800-10	45
6.3 Fréttir af Wollaston berast til Frakklands: afleiðingar	45
6.4 Um hlutverk silfurbergs um 1800, og tveggja geisla prismu 1777-1820	46
6.5 Uppgötvun Malus 1808 – stórt framfarastökk í ljósfræði	46
6.6 Birting niðurstaðna Malus, um 1810	47
6.7 Víðtæk áhrif af uppgötvun Malus eftir 1810; litir í þynnum o.fl.	48
6.8 Optísk virkni, 1811-15	49
7 Enn miklar framfarir, 1816-20	
7.1 Bylgjukeningin vinnur á: Fresnel, þverbylgjur, optísk virkni o.fl. frá 1816	51
7.2 Skautun ljóss – skýringar	51
7.3 Brewster: Brewsters-horn, tvíása kristallar o.fl. 1810-20	55
8 Frekari afrek Fresnels, 1817-27	
8.1 Kenningar og tilraunir Fresnels um ljós í venjulegum efnum	59
8.2 Kenningar Fresnels um tvöfalt ljósbrot í kristölluðum efnum	60
9 Um kristallafræðina og ýmsan þátt kalkspats í þróun hennar framan af 19. öld	
9.1 Ýmislegt um kristallafræði og ljós, 1815-30	63
9.2 Um kalkspat sérstaklega, og bergkristall (kvars)	64
9.3 Eiginleikar íslenska silfurbergsins	64
10 Arftakar Fresnels, 1820-40	
10.1 Fjaður-bylgjur	67
10.2 Ljósþvaka-vandamálið á meginlandinu, einkum kenningar, til 1840	67
10.3 Ljósþvaka-vandamálið í Bretlandi, einkum kenningar, 1820-40	69
10.4 Tilraunir 1830-40	70
10.5 Varmageislun o.fl. 1812-50	71
10.6 Ljóstvístur	72
11 Vísbendingar um misátta eiginleika 1820-35	73
12 Ýmislegt um tæki, 1820-40	
12.1 Tveggja geisla prismu	77
12.2 Nicol-prismað 1829: afgerandi nýjung í mælitækni	77
12.3 Aðrar aðferðir til að framleiða og greina skautað ljós	79
12.4 Optísk virkni, framhald – Biot 1832-40	79
13 Endurbætur á Nicol-prismum; polarimetrar og mælingar með þeim frá 1840	
13.1 Inngangur	81
13.2 Polarimetrar o.fl. 1840-50	83
13.3 Fjórðungsplata	85
13.4 Dichroskop	87
13.5 Fasajafnarar	87

14 Útflutningur silfurbergs til 1850: ágiskanir	89
15 Meira um misátta hegðun og tvöfalt ljósbrot, frá 1845	
15.1 Misátta segulhegðun, 1845-55	91
15.2 Kenning um hegðun kristalla í sviði – almennt mikilvægi	92
15.3 Meira um áhrif þrýstings á ljóseiginleika efna, til 1880	93
16 Tvær stóruppgötvanir varðandi optiska virkni, 1845-50	
16.1 Faraday: Seguláhrif á ljós	95
16.2 Uppgötvun Pasteurs 1848, og afleiðingar fyrir efnafræðina	95
17 Þróun ljósfræði, m.a. varðandi tilgátu Huyghens, 1840-80	
17.1 Kenningar og prófun þeirra	97
17.2 Tilraunir á silfurbergi	99
17.3 Um útgeislun ljóss	100
18 Tækjapróun 1850-70	
18.1 Nýir polarimetrar og rannsóknir með þeim, 1850-70	103
18.2 Smásjár, Nicol-prismu og þunnarneiðar af bergi 1850-70	106
18.3 Skautunarsmásjár í líffræðirannsóknum	108
18.4 Silfurberg í mælingum á ljósstyrk, 1850-70 (með forsögu)	109
19 Náman við Helgustaði 1850-79	113
20 Kenning Maxwells um ljósið sem bylgju raf- og segulsviða, upp úr 1860	117
21 Ýmsar áframhaldandi rannsóknir á silfurbergi, 1850-1900	
21.1 Kristalform kalkspats; vökvainnlyksur	119
21.2 Varma- og rafeiginleikar; ljósvístur; ljósbrot; ljómun	121
21.3 Silfurberg og varanleg aflögun og ummyndun kristalla	122
21.4 Fjaðurstuðlar og silfurberg, um 1870-90 og forsaga	123
22 Þróun tækja og nýjar rannsóknir með þeim, um 1870-90	
22.1 Prismu 1870-90	125
22.2 Polarimetrar í rannsóknum og iðnaði, um 1870-1900	125
22.3 Optisk virkni í rannsóknum á byggingu sameinda, 1880-1900	133
22.4 Smásjár og önnur bergfræði-ljóstæki, um 1870-90	135
23 Áhrif rafsviðs og segulefna á skautun ljóss, 1875-1900	137
24 Silfurbergsnáman 1879-95	139
25 „Hungursneyðin“ 1884-1920, sjá tilvitnanir í Viðauka 1	141
26 Silfurberg og efnafræðirannsóknir, einkum 1840-1915	143
27 Ýmsar rannsóknir með Nicol-prismum kringum aldamótin	
27.1 Dreift ljós og litur himinsins	145
27.2 Fljótandi kristallar, frá 1870	149

27.3 Ljós-fjöðrun 1880-1920 og síðar; Maxwell-hrif í vökvum	150
27.4 Rannsóknir E. Fischers á sykri o.fl.	153
27.5 Rannsóknir A. Werners á ólífrænum efnum	156
27.6 Hraði og jafnvægi efnahvarfa	157
27.7 Mutarotation-fyrirbrigðið	158
27.8 Ljósrofing og skyld ferli	159
28 Meira um rannsóknir á silfurbergi, 1880-1900	
28.1 Ætímyndir í silfurbergi o.fl. kristöllum	161
28.2 Frekari tilraunir á ljósbroti í silfurbergi o.fl. vegna tilgátu Huyghens	161
28.3 Ljóstvístur í silfurbergi, og fleiri eiginleikar	163
28.4 Umræðan um ljósvakann og Maxwells-kenninguna, fram yfir 1890	165
29 Helstu ljóstæki með skautuðu ljósi, um 1890-1930	
29.1 Bergfræðismásjár	167
29.2 Polarimetrar 1900-30 og síðar	171
29.3 Endurkasts-smásjár, um 1900-20	177
29.4 Ljósmælar sem byggðu á eiginleikum silfurbergs, 1870-1930	178
29.5 Litrófs-ljósmælar og skyld tæki með Nicol-prismum, 1870-1930	183
29.6 Nicol-prismu í stjarnfræði	189
29.7 Silfurbergsprismu í rannsóknum á litum og sjón	193
29.8 Rannsóknir á útfjólublárrí geislun	195
29.9 Líffræðirannsóknir o.fl.	201
30 Ný segul- og rafáhrif á ljós, 1896-1925	
30.1 Zeeman-hrif, 1896-1910	203
30.2 Zeeman-hrif og önnur segul- og rafhrif tengd skautun ljóss, 1900-25	207
31 Hreyfing miðað við ljósvakann, um 1860-1915	211
32 Náman 1895-1910 og silfurbergs-framboð	215
33 Íhlutir í stað silfurbergs í Nicol-prismum o.fl., 1885-1920	
33.1 Glerplötur o.fl.	219
33.2 Sparnaðar-afbrigði Nicol-prisma, kalkspatlinsur	221
33.3 Saltpéturskristallar	223
34 Ýmsar rannsóknir frá 1900 fram yfir 1920	
34.1 Eðliseiginleikar silfurbergs o.fl.	225
34.2 Sveifluckerfi efniseinda	226
34.3 Innrautt ljós og varmafræði	228
35 Polaroid o.fl. skautunarsíur eftir 1920; sykurmælingar	
35.1 Kristalla-ræktun o.fl.	229
35.2 Herapathit og þróun Polaroid-þynna	230
35.3 Sykurmælingar með öðrum tækjum en polarimetrum	231

36 Röntgengeislar og fleiri rannsóknir á geislun og efnum 1895-1930	
36.1 Röntgen	233
36.2 Dreifing röntgengeisla, bygging kalkspats	233
36.3 Silfurberg sem kvarði fyrir röntgengeisla	235
36.4 Lengdir innan kristalla	238
36.5 Grundvallarstærðir eðlisfræðinnar; bygging frumeinda	239
36.6 Compton-hrif	237
36.7 Ljósdrifing, óson o.fl.	243
36.8 Ljómun; Maxwell-hrif	245
36.9 Málm- og hálfleiðarafletir og þynnur	247
37 Silfurbergsnám 1910-40	
37.1 Helgustaðanáman	249
37.2 Hoffell o.fl.	252
37.3 Útlönd 1910-40	253
38 Faraday-hrif og Kerr-sellur, einkum 1920-40	
38.1 Rannsóknir á snöggum fyrirbrigðum	255
38.2 Faraday-hrif og Kerr-sellur í fjarskiptatækni	257
38.3 Kerr-sellur og ljóshraðinn	259
39 Um nýjungar í notkun silfurbergs um og eftir 1930	
39.1 Framleiðsla tækja með Nicol-prismum frá um 1920	261
39.2 Stjörnuathuganir B. Lyots og annarra	265
39.3 Ýmislegt um ljós og segulsvið, frá um 1925	266
39.4 Silfurbergs-hringmiðið og stórvinnsla í Bandaríkjunum og Mexíkó	269
39.5 Silfurberg í ljósvíxla-tækni	270
39.6 Pockels-sellur	271
39.7 Raman-hrif	272
40 Silfurbergsnám eftir 1940; lokaorð	
40.1 Náman á Helgustöðum; erlendar námur; not fyrir silfurberg	273
40.2 Lokaorð um námureksturinn	273
40.3 Um ljósfræði og eðlisfræði í skólum	274
40.4 Nokkrar missagnir og ónákvæmni varðandi silfurbergið	275

Viðaukar

Viðauki 1A. Staðhæfingar frá ýmsum löndum um námuna og um silfurbergs-skort	285
Viðauki 1B. Nokkrar auglýsingar og önnur gögn um silfurbergs-framboð	287
Viðauki 1C. Bréf G.G. Stokes 1886	289
Viðauki 2. Efnagreiningar á íslensku silfurbergi	291
Viðauki 3. Nokkrar myndir af eða úr silfurbergsnámunni	293
Viðauki 4. Ýmis vensl milli manna og tengsl við Ísland,....	295
Viðauki 5. Nóbelsverðlaun, Nóbelsverðlaunahafar og silfurberg	299
Viðauki 6. Þýðingar úr frönsku og þýsku	303
Viðauki 7. Nokkur af þeim tímaritum sem mest er vitnað í	307

Heimildir og athugasemdir	309
----------------------------------	------------

Útdráttur

Rasmus Bartholin gaf út í Kaupmannahöfn 1669 60-bl. bækling þar sem hann lýsir athugunum sínum á glærum kristöllum frá Helgustöðum við Reyðarfjörð á Íslandi, einkum einstæðri hegðun þeirra gagnvart ljósi („tvöfalt ljósbrot“). Bæklingurinn markaði tímamót í bæði kristalla- og ljósfræði. Bæði Ch. Huyghens og I. Newton tóku tvöfalda ljósbrotið inn sem sérstaka viðbót við kenningar sínar um ljósið kringum 1700. Sá fyrrnefndi taldi ljósið vera bylgjur en sá síðarnefndi agnir. Lítið nýtt gerðist í málinu lengst af 18. öldinni, og lögðust flestir fræðimenn á sveif Newtons fram undir 1830.

Um 1760 fóru vísindamenn í Evrópu að veita íslensku kristöllum, sem hér nefndust silfurberg, vaxandi athygli. Hvað varðar kristallafræði, þá reyndist lögum (klofnings-stefnur) kristallanna frá Íslandi vera grunn-formið fyrir kristalgerð kalkspats. Það er bæði ein algengasta steindin í jarðskorpunni og sú sem kristallast í einna fjölbreyttustum formum, auk þess að eiga athyglisverðar hliðstæður í öðrum steindum.

Hegðun ljóss í silfurbergi, sem í fyrstu virtist afar óvenjuleg, varð lykill að nýjum fræðilegum skilningi á eðli ljóssins, einkum þeim að ljósið væri þver-bylgja í ljósvakanum, með tvo sjálfstæða vektorþætti. Þann eiginleika varð að taka með í reikninginn við rannsóknir á endurkasti ljóss og brotnun þess á skilflötum. Meðal þeirra sem einna mest lögðu að mörkum við rannsóknir á ljósi með silfurbergi fyrir 1820, voru E. Malus, F. Arago og J.B. Biot í Frakklandi og D. Brewster í Skotlandi, síðar A. Fresnel í Frakklandi og F.E. Neumann í Þýskalandi. Við ljósathuganir á silfurbergi, og á öðrum kristöllum með hjálp þess, kom fram að rúmfræðileg samhverfa kristalla endurspegladist í ljóseiginleikum þeirra. Þetta opnaði mikla nýja möguleika til flokkunar og greiningar steinda, og lagði grunn að heildstæðri fræðilegri umfjöllun um útbreiðslu ljóss í kristöllum. Síðar skipti þverbylgju-eðli ljóss máli í rannsóknum á margskonar annarri víxlverkun þess við efni almennt svo sem gleypingu, ljósbeygju, flúrljómun, ljósdreifingu og útgeislun. Rannsóknir á silfurberginu flýttu einnig fyrir skilningi á eðli geislunar utan sýnilega bylgjusviðsins (s.s. varmageislun) og á hljóðbylgjum í efnum.

Íslensku kristallarnir voru úr hreinna kalsíumkarbonati, stærri og reglulegri að lögum en annað kalkspat. Voru þeir því gjarna valdir til hverslags athugana á efna- og eðliseiginleikum þess í allt að hálfu aðra öld. Eitt mikilvægasta atriðið, sem eiginleikar silfurbergs vöktu athygli á um miðja 19.öld, var svonefnd misátta hegðun kristallaðra efna. Hún lýsir sér þannig, að t.d. harka, fjaður-, segul-, raf- og varmastuðlar eru háðir stefnu miðað við kristalgrindina. Getur það einnig hafa átt þátt í framförum á tilheyrandi sviðum stærðfræði. Einnig höfðu rannsóknir á varanlegri aflögun silfurbergs undir þrýstingi áhrif á ýmsa þróun í efnis- og jarðfræðum, og athuganir á ætingu þess með sýrum bættu skilning á samhverfu kristalla.

Strengingar eða samsettir fleygar af íslensku silfurbergi (Rochon-prismu o.fl.) voru notuð allt frá því um 1800 til aðgreiningar ljóss í tvo geisla, frá um 1815 einnig turmalín-þynnur. Reyndist sveiflustefnan í þessum geislum vera mismunandi, og opnaði það alveg nýja vídd í beitingu ljóss til rannsókna á efnum. Þær rannsóknir eflust mjög eftir að Nicol-prismu úr silfurbergi komu til sögunnar 1829. Optísk virkni (snúningur skautunarplans) í kvasi o.fl. efnum, sem fannst 1811 var einnig einkum rannsökuð með hjálp silfurbergs, einkum eftir 1845 þegar hófst smíði ljóssnúningsmæla (polaristrobometers, saccharimeters) með tveim Nicol-prismum til þess að mæla snúningshornið nákvæmlega. Þær opnuðu enn ný sjónarhorn í kristallafræði, og leiddu til stóráukins skilnings á lífrænni efnafræði. Þessir mælar urðu nauðsynleg tæki í öllum efnarannsóknastofum og mikilvægir við ýmsa efna- og matvælaframleiðslu s.s. í sykuriðnaði. Þeir voru endurbættir á margan hátt, ekki síst með svonefndum hálfskuggabúnaði. Með viðbótar-íhlutum í samskonar mælum (sem þá nefndust ellipsu-polarimetrar) mátti kanna þær breytingar á halla og fasahorni tveggja stefnuþátta ljóssins, sem gátu orðið þegar það fór í gegnum efni, endurkastaðist o.s.frv.

Nicol-prismu gegndu mjög mikilvægu hlutverki í kristalla-, steinda- og bergfræði, sérstaklega eftir 1870 þegar þau voru víða komin í smásjár til rannsókna á þunnisneiðum bergs. Skautunarsmásjár hafa einnig orðið að verulegu gagni í lífrænni efnafræði, svo og í líffræði við að bera kennsl á kristölluð efni í lífverum, rannsaka byggingu bandvefs o.m.fl. Margskonar tæknilegar framfarir síðustu áratuga, ekki síst í fjarskiptum, hafa grundvallast á þekkingu á eiginleikum kristallaðra efnasambanda sem aflað var að hluta með þessum smásjám.

Uppgötvun Faradays 1845 á áhrifum segulsviðs á ljós í efnum, þar sem Nicol-prismu komu við sögu, vöktu mikla athygli og flýttu efalítið fyrir þeirri tilgátu Maxwells upp úr 1860, að ljós sé rafsegulbylgja. Maxwell hafði sjálfur gert tilraunir með slík prismu á skólaárum sínum. Margskonar önnur áhrif raf- og segulsviða á skautunarástand ljóss í efnum (Kerr-hrif 1875-76 o.s.frv.) urðu einnig til að styðja tilgátu Maxwells og auka skilning á víxlverkun ljóss og efnis. Athuganir á ljósdreifingu (scattering) og tilheyrandi skautun í andrúmslofti og vökvum juku enn þennan skilning. Silfurbergs-prismu og linsur voru notuð við ýmsa merka áfanga í könnun lítrófa frumefnanna seint á 19. öld, einkum á útfjólubláu sviði. Rannsóknir á Zeeman-hrifum, þar sem skautun ljóss var einnig mikilvægur þáttur, gáfu til kynna um aldamótin að rafeindir ættu stóran þátt í útgeislun ljóss. Þessi hrif og ýmis önnur þar sem skautun kom við sögu (s.s. Stark-hrif og Cotton-hrif) veittu síðar mikla innsýn inn í víxlverkun ljóss við efni, byggingu sameinda og vökva o.fl. Það sama átti við um þróun skammtakenningarinnar, afstæðiskenningarinnar og annarra þátta í því sem kallað er nútíma eðlisfræði.

Ljós mælar þar sem borinn var saman styrkur tveggja ljósgeisla og Nicol-prismu notuð til deyfingar annars þeirra, voru í a.m.k. sex áratugi notaðir á margskonar vettvangi innan vísinda og tækni. Þar má nefna mælingar á birtu stjarna, endurkasti ljóss frá flötum, flúrljómun, gleypingu í efnum (m.a. til efnagreininga), lítrófum útgeislunar frá frumefnum og efnasamböndum, og dreifingu ljóss frá ögnum. Afbrigði þeirra komu við sögu t.d. í lita-iðnaði og rannsóknum á sjón.

Um aldamótin voru polarimetrar í afgerandi hlutverki í rannsóknum E. Fischers á byggingu sykurefna og smíði sameinda af sykri, amínósýrum og fleiri lífrænum efnum. Sömuleiðis í rannsóknum A. Werners á ósamhverfum sameindum ólífrænna efna kringum frumeindir köfnunarefnis og málma. Af öðrum sviðum vísinda þar sem Nicol-prismu úr silfurbergi höfðu veruleg áhrif á árunum 1890-1930, má nefna svokallaða fljótandi kristalla, smásjár-rannsóknir á málmsteindum og málmum með endurköstuðu ljósi, og Zeeman-hrif (áhrif segulsviðs á útgeislun ljóss) sem skýrðu margt varðandi lögmál skammtafræðinnar. Sem dæmi um tæknilega notkun Nicol-prisma má telja myndsendingar (Kerr cells), rannsóknir í burðarþolsfræði (photoelasticity), mælingar á dreifðu ljósi frá svifögnum (nephelometry), og

rannsóknir á eiginleikum þunnra himna (ellipsometry), sem nýttist meðal annars eftir 1970 við framleiðslu örrása í tölvur.

Frá því fyrir 1920 og fram yfir 1940 voru silfurbergs-sýni notuð af ýmsum vísindamönnum til mælinga á bylgjulengdum röntgengeisla. Mælingar á þeim áttu m.a. þátt í nákvæmnis-ákvörðunum á orkustigum frumeinda, á kristallabyggingu annarra efna, og á gildum mikilvægra eðlisfræðistærða eins og hleðslu rafeinda og Plancks-stuðlinum h.

Íslenska silfurbergsnáman er innan megineldstöðvar sem kennd er við Reyðarfjörð, og er silfurbergið væntanlega orðið til við jarðhita-ummyndun blágrýtis. Kristallar virðast hafa verið tíndir upp og fluttir til útlanda í talsverðu magni, en nokkuð tilviljanakennt, fram til 1850, er reglulegur námurekstur hófst. Hann stóð hæst árin 1863 -72 undir stjórn C.D. Tulinius kaupmanns á Eskifirði, en síðan var unnið á vegum ríkisins og með löngum hléum þannig að framleiðsla kristalla í sjóntæki og til annarra nota var mun minni en eftirspurnin. Jafnstórir og góðir kristallar fundust þá ekki annarsstaðar í heiminum, og höfðu vísindamenn og tækjaframleiðendur verulegar áhyggjur af ástandinu frá því upp úr 1880. Unnið var í námunni 1882, 1885 og mörg áranna 1895-1914, en bæði magn og gæði þess efnis sem náðist, fór minnkandi. Notendur leituðu hinna margvíslegustu leiða til að spara notkun silfurbergsins í ljóstækjum og hafa upp á öðrum efnum sem gætu komið í stað þess. Eitthvað var numið af silfurbergi til útflutnings við Hoffell í Hornafirði frá 1911, og nothæfir kristallar fundust m.a. í Rússlandi um 1898 og í Bandaríkjunum 1907.

Ekki löngu eftir að silfurbergsnáman á Helgustöðum var opnuð að nýju á vegum ríkisins um 1920, kom í ljós að framboð hafði aukist á efninu annarsstaðar frá, aðallega Suður-Afríku. Með framleiðslu svonefndra Polaroid-þynna sem hófst um 1933 og var komin á verulegt skrið eftir 1940, minnkaði eftirspurnin eftir silfurbergi, en hún var samt meiri en framboðið á árunum 1940-70. Á síðustu 3-4 áratugum hefur þörf fyrir silfurbergskristalla til nota í ljóstækjum (ekki síst í laser-tækni) enn aukist. Hafa námur fundist allvíða um lönd og gera nú meira en fullnægja eftirspurninni. Náman á Helgustöðum og þáttur íslenska silfurbergsins í þróun raunvísinda mega ekki falla í gleymsku, því að fátt annað frá Íslandi hefur haft meiri áhrif á erlendri grundu.



Summary: Iceland spar and its effects on the natural sciences

In 1668, King Frederik III of Denmark made arrangements for the collection of large transparent crystals which had been noted at a site on the Reyðarfjörður fjord in E-Iceland. In the following year, Bartholin in Copenhagen published a 60-page booklet describing their properties.

This booklet is generally acknowledged as a major milestone in the emergence of both crystallography and optics as scientific disciplines. Among the properties of this material was the appearance of a double image when objects were viewed through it. A few decades later, the double refraction of the Icelandic crystals was discussed in treatises on light by Huyghens (who considered light to be a wave motion in a very tenuous “aether”) and Newton (who described it as a stream of emitted particles). Both realized that their theories had to be modified to account for the behaviour of light in this material (a variety of calcite which came to be known as Iceland spar) and in other doubly refracting crystals such as quartz.

Not much happened in this field of optics during most of the 18th century. From about 1760 Iceland spar and other crystal forms of calcite played an increasingly important role in the development of crystallography (Bergman, Hauy, and many others). It also generated much interest among mineralogists (Klaproth, Thenard, Mitscherlich), regarding for instance concepts like di- and isomorphism.

Following sporadic publications after 1760 (such as by Malm, Martin, and Monge), Iceland spar revived general interest in theories of light around the turn of the century (e.g. Hauy, Wollaston, Young). Malus’ observation in 1808 that light became “polarized” by reflection as well as by passage through Iceland spar, led to much new research on optical phenomena by brilliant scientists like Biot, Arago, Brewster and Fresnel. The realization by Young in 1817 that light was a transverse wave opened up a new dimension in optics. Interference effects in polarized light, as well as optical activity (rotation of the plane of polarization during the passage of light through various compounds) sparked additional interest. In the first half of the 19th century, observations on the polarization of radiated heat by Iceland spar and other means (Bérard, Melloni, Forbes) contributed to its acceptance as being of the same kind as visible light.

In 1820-50, much progress was made in the theory of elastic wave motion in matter (Poisson, Navier, Cauchy, Green, Neumann, MacCullagh, Stokes and others) but a reasonably satisfactory theory for propagation of purely transverse waves in the aether within material media was not found until after 1880. Measurements of the refracting and reflecting properties of Iceland

spar were made with increasing accuracy through the 19th century (e.g. by Grailich, Cornu, and Glazebrook), in order to test theoretical predictions by Huyghens, Fresnel and others.

In optical research it was important to separate light vibrations distinctly into its orthogonal components. Attempts to do this included specially cut wedges of Iceland spar and quartz crystals (Rochon prisms, etc.), dichroic materials (chiefly tourmaline), and inclined piles of glass plates, but the winner was the compound Iceland spar prism invented by W. Nicol of Edinburgh in 1829. Nicol prisms were subsequently built into various instruments, the most common being polariscopes or polarimeters (for analysis of elliptically polarized light, from about 1840) and petrographic microscopes, see below. These instruments were widely used by physicists and others studying fundamental questions of optics, interactions between light and matter, luminous phenomena, vision, etc.

Pasteur's research on the optical activity of crystals and solutions (from 1848) opened up a whole new branch of chemistry, stereochemistry. Polarimetric measurements have turned out to be of great value in studying the structure of molecules, especially organic compounds, through the 19th and 20th centuries.

Around 1850, Iceland spar was important to the experimental and theoretical development of various aspects of anisotropy (i.e. directional dependence), which characterizes properties like hardness, thermal and electric conduction, electric and magnetic susceptibility, and elastic parameters of crystals. Here, the names of Mitscherlich, Senarmont, Faraday, Knoblauch, W. Thomson, Voigt and many other scientists may be mentioned.

Microscopical studies on crystals and thin sections of rocks, which utilized polarized light after ca. 1865 (Sorby, Zirkel, Des Cloizeaux, Rosenbusch, Michel-Lévy) revolutionized the fields of crystallography, mineralogy and petrology. Apart from Nicol prisms (in tens of modifications), Iceland spar was used in various accessories in this research (dichroscope prisms, Savart plates, Calderón plates, later rotatable compensators,...). Several manufacturers of optical equipment developed standard petrographic microscopes as well as more specialized devices for mineralogy, incorporating these components. Reflected-light microscopes developed after 1900 (by Königsberger, Wright, Berek and others) for studying properties of ore minerals and metals, similarly employed Iceland spar prisms and accessories. Knowledge of crystal structures has been central to many technical advances, e.g. in the field of communication.

Faraday's discovery in 1845 that magnetic fields could affect the state of polarization of light in materials, demonstrated a link between magnetism and light. This was probably a factor influencing J.C. Maxwell in his development of an electromagnetic theory of light (early 1860's), and the acceptance of this theory by physicists may have been hastened by the discovery by Kerr of other electrical (1875) and magnetic effects on light. Polarization also played a part in research on scattering of light, e.g. with respect to the blue color of the sky (Tyndall, Rayleigh). Calcite prisms and lenses played a part in the development of atomic spectroscopy in the late 1800's, especially in the ultraviolet (Huggins, Cornu and others). Around the turn of the century, measurements of light polarization were important in the study of additional electro- and magneto-optic effects. These included the Zeeman effect (1896) which indicated that electrons were the chief emitters of light. This effect was later strongly involved in the application of quantum theory to atoms and molecules, as well as giving new insight into astrophysics. Several other polarization phenomena (found e.g. by Cotton and by Stark) also were useful in studies of atomic and molecular structure.

After 1865 the artificial generation of twinning and slip planes in Iceland spar by mechanical pressure, and the presence of hollow spaces, also increased the understanding of crystal physics. In crystallographic work on the various forms of calcite, however, specimens from other

localities were studied in much more detail than Icelandic ones. Research on the etching effects of various fluids on surfaces of Iceland spar and other minerals (mostly after 1880), helped in the understanding of symmetry of crystals.

Iceland spar was used considerably in the 19th century as a source material in atomic weight determinations for calcium and later in other chemical research. In investigations of the properties of X-rays, as well as in the use of X-rays to study crystal structure from 1913 to at least 1940, Iceland spar crystals (from Iceland and elsewhere) were used by many as a reference material for wavelengths because of their unusual purity and regularity. This research contributed to our knowledge of atomic structure and the development of various aspects of modern physics such as quantum mechanics and relativity. Iceland spar crystals were also involved in the precise evaluation of fundamental quantities of physics such as the electron charge and Planck's constant.

Among still other fields benefitting greatly from polarized light were studies of mechanical stress and strain (photoelasticity), research on suspensions and colloids (nephelometry, flow birefringence), liquid crystals, and thin films (ellipsometry). High-speed light shutters incorporating Kerr cells and Nicol prisms were used for wireless transmission of pictures, precise measurements of the speed of light (from 1925), etc.

Nicol prisms also were an essential component of a variety of photometers (for measuring light intensity) for at least seven decades from around 1860. These instruments were used in astronomy and in many fields of optics research, e.g. regarding emission and absorption of light (with important applications in chemical analyses), fluorescence, and scattering. Modified types of these instruments were useful in the science and technology of colors and dyes, for measurements of high temperatures in industry, and in studies of visual perception.

For many decades, polarimeters were standard equipment in chemical, biochemical and medical laboratories, being especially important in the sugar industry. Among major advances in chemistry around 1900 were E. Fischer's synthesis of sugars, amino acids and other organic molecules which brought new understanding of biochemical processes, and A. Werner's work in inorganic chemistry, especially on so-called coordination compounds. Polarizing microscopes with Nicol prisms found various uses in organic chemistry, in biochemistry, and in biology (e.g. in studying crystallized biological materials, connective tissue, and fibers) although their role in those fields was not as prominent as in the geosciences.

Almost all calcite used for optical research and instrumentation (and many of the crystals used in physical property studies) well into the 20th century seems to have been obtained from the single quarry at Helgustaðir in East Iceland. The reason for the exceptional size, lack of defects, and chemical purity of these crystals is connected with the presence of a Late Tertiary volcanic center in the area (mapped by G.P.L. Walker in the late 1950's). Crystals were probably mostly picked from the soil or surface outcrops until the 1850's, when organized mining and exporting started. The heyday of activities was in 1863-72, when the quarry was leased by C.D. Tulinius, a merchant in Eskifjörður. The site was fully owned by the State from 1879. Extraction of crystals was only intermittent from 1873 until 1914, causing (after 1880) „famine“ conditions for many scientists and instrument makers in need of the material. In Europe, much effort was spent on ways to economize in the use of Iceland spar and to discover or invent substitutes.

Apparently, new sources of optical crystals in commercial quantities were located in South Africa in the early 1920's, soon after the Icelandic government had re-opened the Helgustaðir quarry at considerable expense. After 1925, not much optical-quality material seems to have been extracted there, but inferior calcite material (from the tailings of the quarry?) was used ex-

tensively in a surface finish for buildings between the 1930's and early 1960's. A smaller calcite deposit at Hoffell in SE-Iceland was worked intermittently in 1911-39. The Helgustaðir quarry and its immediate surroundings were declared a protected area by the Government of Iceland in 1975, including a ban on removal of mineral specimens.

“Polaroid” dichroic materials patented in the U.S. around 1933 and later improved, greatly reduced the optical industry's dependence on calcite but the supply of optical-quality material was still insufficient for decades. The demand for the calcite crystals increased again after 1960, due among other things to the advent of lasers in optics research. Many commercial deposits of Iceland spar are now being exploited, e.g. in Russia, Southern Africa, Mexico, the U.S. and Brazil.

1 Inngangur

Mottó: „...*der isländische Doppelspat, dieses unvergleichliche Mineral, ...der Grundstein unserer physikalischen Kenntnis der Krystalle...*“ (Tschermak 1881, bls. 101)

1.1 Um verkið

Við Helgustaði norðan Reyðarfjarðar eru minjar um námurekstur þar sem unnið var svonefnt silfurberg. Náman hefur verið friðuð síðustu áratuginu, og lítt um hana sinnt. Í kennslu- og kynningarefni um Austfirði er iðulega einungis sagt að silfurbergið hafi verið „notað í sjóntæki“. Helsta umfjöllunin um námuna sjálfa er í Landfræðissögu Þorvaldar Thoroddsen, sem út kom um aldamótin, Tímariti VFÍ 1922 og Iðnsögu Íslands 1943. Eina ítarlega lýsingin á eðli og notkun silfurbergs, sem út hefur komið á prenti á íslensku svo mér sé kunnugt, er eftir Svein Þórðarson (1945). Í þeirri grein er þó engin heimildaskrá. Í upphaflegri útgáfu þessarar skýrslu 2001 var því í fyrsta sinn talinn upp nokkur fjöldi heimilda um afdrif íslenska silfurbergsins og önnur tengd málefni, til að upplýsa hversvegna það var eftirsótt erlendis. Má draga þá ályktun af þeim, að silfurbergsnáman við Reyðarfjörð sé allmerkur sögustaður á heimsvísu, vegna áhrifa þess á þróun ýmissa sviða raunvísinda á síðari öldum.

Þetta verkefni hófst í þriggja mánaða rannsóknaleyfis-dvöl við Wisconsin-háskóla í Madison meðan eiginkona mín var þar við störf vorið 1995. Við háskólann var ekki aðstaða til að stunda þær mælingar í jarðeðlisfræði sem ég hefi annars sinnt, en mjög góð og aðgengileg bókasöfn með miklum fjölda helstu vísindatímarita sem út komu á 19. öld. Þar fór ég að leita að greinum vegna annarra verkefna varðandi sögu náttúrurannsókna á Íslandi, og rakst á forvitnilegar tilvitnanir um silfurberg og tækjabúnað sem byggðist á því. Ég hélt þeim til haga og hefi síðan haldið áfram öflun prentaðra heimilda um þetta málefni, innan lands og utan, að verulegu leyti sem tómstundastarf eftir því sem tækifæri hafa gefist, og með alllögum hléum. Um þann árangur sem náðst hafði fram til hausts 1996, ritaði ég stutta grein í fjölrítað ráðstefnuhefti Eðlisfræðifélags Íslands (Leó Kristjánsson 1996). Var ég þá að vonast til þess að einhverjir, og þá helst mér færari, fengju áhuga á að taka við verkefninu, en ekki varð svo. Auk dvalarinnar 1995 skrapp ég til Madison í nokkra daga á árunum 2000 (með stuðningi frá Starfsmenntunarsjóði BHM), 2002 (með styrk frá Sáttmálasjóði H.Í.), 2004, 2005 og 2006 til að ljósrita tímaritsgreinar á bókasöfnum.

Margt afrita hef ég náð í gegnum millisafnalán Landsbókasafns, British Library Document Supply Centre, og ýmsa miðla á Netinu, langmest þó frá Gallica-vefsíðu franska Þjóðbókasafnsins. Önnur hafa venslamenn og kunningjar hjálpað við að útvega, m.a. á bókasöfnum Sveriges Geologiska Undersökning í Uppsala og Institut de France í París. Þessi mikilsverða aðstoð er hér með þökkuð. Eiginkona mín, Elín Ólafsdóttir lækni, hefur veitt margháttadar upplýsingar um atriði varðandi efnafræði og líffræði. Larry Hughes hjá EnSafe Inc., Memphis, Tennessee, hefur sent mér ýmis gögn varðandi m.a. silfurbergsnámur erlendis og notkun silfurbergs. Einar G. Pétursson benti mér á rit varðandi Vísa-Gísla, og Helgi Þorsteinsson útvegaði bókarkafli eftir Þorvald Thoroddsen. Fyrir utan bókasöfnin í Madison hefur mest af heimildum mínum fengist á bókasöfnum Kaupmannahafnarháskóla, fyrst í þriggja vikna dvöl þar í borg haustið 1998 og síðan í rannsóknaleyfum jan.-mars 2000 og sept. 2004, og í styttri heimsóknum. Aðrar heimildir hef ég fundið á Landsbókasafni, og í söfnum Lundar-, Uppsala-, Newcastle- og Edinborgarháskóla á ferðalögum. Nokkra tugi mikilvægra bóka nýrra og gamalla um ljósfræði, steindafræði o.fl. auk ævisagna hef ég keypt. Í dvölinni í Kaupmannahöfn veturinn 2000 hafði ég aðsetur í fræðimansíbúð Alþingis, og er mjög þakklátur fyrir velvilja þingsins að veita mér þá aðstöðu. Skráningarsjóður Rannsóknasjóðs Háskólans veitti styrk 2006 til frágangs og útgáfu handritsins. Að öðru leyti hafa útgjöld við þessa heimildasöfnun og útgáfu verið kostuð af rekstrarfjárveitingu Raunvísindastofnunar og af höfundi.

Ég vil sérstaklega þakka Kristjáni syni mínum og Hildigunni Sverrisdóttur eiginkonu hans, ásamt Geirfinni Jónssyni, ómetanlega aðstoð og uppörvun, ekki síst við að koma upp sýningu á veggspjöldum með myndum af mælitækjum, í Öskju í sept. 2005. Kristján sá um umbrot á þessari 2. útgáfu.

Um árangurinn af heimildaöflun minni má lesa í þessum minnisblöðum. Hún hefur verið hálfgerð fálmi í þoku, því að eftir fróðleik um silfurberg er að slægjast í margvíslegustu tímaritum og bókum, sem skýrst hefur smátt og smátt hver gætu helst verið. Margt hef ég rekist á af hreinni tilviljun. Getur í sumum tilfellum tekið mánuði að afla einnar heimildar og að kynna sér hana, og síðan hefst leit að þeim heimildum sem þar fæst vísbending um. Sumt hafa hinsvegar bókaverðir erlendis ekki fundið þótt finnanlegt ætti að vera, og iðulega hefur t.d. vantað myndasíður í þau ljósrit greina sem ég hef fengið send. Listar mínir yfir frekari heimildir um notkun silfurbergs og tengd atriði, sem ég hef haft spurnir af og gagnlegt gæti verið að komast í til að skoða, hafa verið að lengjast síðan 1995.

Í skýrslunni eru nokkrir kaflar um vinnslu silfurbergsins hér og verslun með það, að hluta úr prentuðum heimildum og að hluta úr tveim möppum sem starfsfólk Þjóðskjalasafns hafði upp á. Jón Böðvarsson á skjalasafni Alþingis veitti aðgang að fylgiskjölum rannsóknaneftar Alþingis 1911, og upplýsti um afdrif annarra plagga sem ég spurðist fyrir um. Rannveig Einarsdóttir á Höfn benti mér á tvær prentaðar heimildir um Hoffells-námuna. Fleiri gögn varðandi námareksturinn, útflutning, dreifingu silfurbergsins o.m.fl. eru örugglega til á þessum og öðrum söfnum innanlands, sem og í Danmörku, Þýskalandi og víðar. Leit að þeim tæki mikinn tíma, og best væri ef sagnfræðimenntaður aðili með reynslu á því sviði sinnti slíku verkefni.

Hér er því eingöngu um yfirborðskennt samsafn minnisatriða að ræða, en ekki sagnfræðilegt verk. Slík úttekt mundi fylla eina eða tvær stórar bækur, og má lauslega áætla að hún taki fimm manns-ár og mikinn útlagðan kostnað við ferðalög, öflun bóka og myndefnis og fleira, til viðbótar við það u.þ.b. tveggja ára starf sem ég hef alls lagt í þessa heimildasöfnun. Úr skýrslunni hef ég unnið stuttar greinar á innlendum vettvangi (Leó Kristjánsson 2001, 2002b), og í erlendum tímaritum (Leó Kristjánsson 2002a, 2003).

Þetta rit hefur meira en tvöfaldast að stærð frá fyrstu útgáfu (ág. 2001). Lagfærðar hafa verið ýmsar ritvillur og misskilningur höfundar, orðalag endurbætt, málsgreinar færðar til og nýjum skotið inn. Heimildum í heimildaskrá hefur fjölgað verulega, einnig undirköflum, viðaukum og myndum.

1.2 Helstu áhrif silfurbergs á raunvísindi

Söfnun mín hefur beinst mest að því að skilgreina, til hvers silfurberg var notað af erlendum raunvísindamönnum, og fá hugmynd um hvaða áhrif árangur þeirra getur hafa haft á þróun tiltekinnna vísindasviða. Einkum er áhersla lögð á tímabilið frá því um 1780 til 1920, en ýmislegt er þó tínt til frá áratugunum fyrr og síðar. Á þessum tíma urðu geysilega miklar framfarir á mjög breiðum vettvangi raunvísinda og tækni sem kunnugt er.

Silfurbergskristallar komu þar víða við sögu með afgerandi hætti, og á ýmsan veg. Ekki er alltaf tekið fram í viðkomandi greinum að þeir kristallar séu ættaðir frá Íslandi, og nafnið „Iceland spar“ hefur af mörgum verið notað um tæra kalkspatkrystalla hvaðan sem þeir komu. Oft má þó gefa sér það, því að íslensku kristallarnir báru svo mjög af öðrum í mörgu tilliti að vísindamenn hefðu verið að sólunda tíma sínum með því að nota efni annarsstaðar frá. Stundum er nefnt í síðari heimildum, s.s. hinum stóra yfirlitskafla bókar Hintzes (1930) um þekkingu manna á kalkspati, að um íslenskan efnivið hafi verið að ræða í tilteknum rannsóknum þótt frumheimild geti þess ekki.

Í fyrsta lagi voru tilraunir gerðar á og með kristöllum af silfurbergi. Þessar tilraunir vöktu athygli og umræður, og beindu áhuga vísindamanna (m.a. alla 19. öldina og lengur) mjög að grundvallaratriðum í ljósfræði, kristalla- og steindafræði, eðlisfræði fastra efna og fleiri greinum.

Í öðru lagi var silfurbergið það líkan sem kennileg umræða og fræðsla bæði í kristallafræði, eðliseiginleikum kristalla, og skautun ljóss miðaðist mjög við.

Í þriðja lagi voru Nicol-prismu og fylgihlutir þeirra úr silfurbergi afar mikilvægur hluti tækjabúnaðar við rannsóknir á ýmsum náttúrufrýrbrigðum með ljósi, og tæknilega hagnýtingu þeirra, frá því um 1840.

Hvað varðar þriðja atriðið þarf að útlista, að eðlisfræðileg þekking á efnisheiminum hefur aflast með rannsóknum á því hvernig efni bregðast við t.d. þrýstingi, upphitun, raf- og segulsviðum, hljóðbylgjum, og blöndun við önnur efni. Öflugustu aðferðirnar í þessari þekkingaröflun byggja þó á margskonar víxlverkun efnanna og ljóss. Í rannsóknum á eðli efna með ljósi geta vísindamenn meðal annars mælt styrk (birtu) ljóssins og kannað áhrif þess að breyta honum eða lengd ljósglampa, sömuleiðis bylgjulengd (lit) þess, og stefnu ljósgeisla miðað við t.d. flöt sem ljósið fellur á. Hinir svonefndu skautunar-eiginleikar ljóss, sem einna hagstæðast var að rannsaka með silfurbergsprismum (frá um 1840 einkum Nicol-prismum), bættust í aðferðabúr eðlisfræðinnar upp úr 1800. Þeir reyndust mjög næmir fyrir allskyns áhrifum efnisins og hafa verið afar mikið notaðir í eðlisfræði og öðrum greinum raunvísinda síðan. Nicol-prismu voru raunar einnig notuð í ýmis tæki sem mældu styrk ljóss í ýmsum tilgangi, m.a. við efnagreiningar og mat á hitastigi. Efniviður í þessi prismu virðist að mestu hafa komið frá Helgustöðum fram yfir 1900, og ekkert svæði varð stærri uppspretta silfurbergs en Ísland fyrr en eftir 1920.

1.3 Um heimildir og heimildaskrána

Meðfylgjandi heimildaskrá er gerð með óformlegri hætti en í fræðiritum. Heimildir sem ég vitna til varðandi tiltekna uppgötvun eða tækni, eru ekki endilega þær upprunalegustu, aðeins þær sem ég veit af að í megi finna einhverjar upplýsingar um viðkomandi atriði. Gríðarlegur fjöldi ritsmíða varðandi þau málefni sem hér er fjallað um (skautað ljós og notkun þess, kristallafræði o.fl.) birtust á 19. öld. Í heimildaskránni er þessvegna aðeins lítið sýnishorn allra þeirra vísindagreina og bóka á alþjóðavettvangi, þar sem fjallað er um silfurberg og skautað ljós. Hún ætti þó að gefa nokkra hugmynd um það breiða svið raunvísinda og tækni sem silfurbergið hafði áhrif á. Mörg atriði þar gætu reynst fróðleg fyrir vísindasagnfræðinga að skoða nánar.

Síðari tíma heimildum (s.s. yfirlitsgreinum og bókum) ber ekki alltaf saman um atburði í sögu þessara málefna, til dæmis varðandi það hver hafi komið fyrstur fram með hugmynd, tæki eða aðferð, hvenær eða á hvaða vettvangi. Hafa mér ekki gefist aðstæður til að rekja allt slíkt, en leiðréttingar á þessum skrifum og ábendingar um frekari fróðleik varðandi silfurbergið eru hinsvegar vel þagnar.

Á 19. öld var algengt, að ein og sama ritsmíðin um raunvísindi væri birt á margskonar vettvangi. Grein í franska tímaritinu *Annales de Chimie et Physique* gat til dæmis birst í stytta formi með sama titli í riti vísindaakademiunnar, *Comptes Rendus*, og síðan þýðingar af greininni heilli eða styttri í *Annalen der Physik und Chemie*, *Philosophical Magazine*, *Edinburgh (New) Philosophical Journal* o.fl. Stór grein kom stundum út í nokkrum smáskömmtum í sama tímaritinu, ýmist undir einum titli eða fleirum. Mislangir útdrættir af efni greina úr öðrum tímaritum og doktorsritgerða, nefndir *Referate*, komu gjarna á 19. öld í þýsku tímaritunum *Neues Jahrbuch für Mineralogie* og *Zeitschrift für Krystallographie*, síðar einnig í útdráttasöfnum eins og *Ann. Phys. Beiblätter* eða *Physics Abstracts*. Oftast leið skammur tími milli þessara birtinga, en stundum nokkur ár. Birting á prenti gat líka dregist árum saman eftir að stór ritgerð var lögð fram eða kynnt t.d. á fundi vísindafélags eða akademíu. Í heimildaskránni er oft aðeins einnar heimildar getið, ekki endilega þeirrar fyrstu frá hendi höfundar sem á prent kom um viðkomandi málefni, né með titli á upphaflegu tungumáli. Heildar-upptalning allra birtinga mundi æra óstöðugan. Ég vísa á hið mikla verk „*Royal Society Catalogue of Scientific Papers 1800-1900*“ I-XIX, fyrir þá sem vilja kynna sér útgáfur einstakra ritsmíða á 19. öld nánar. Í heimildaskránni eru nöfn tímarita ekki fyllilega samræmd.

Heimildaskráin endurspeglar það að talsverðu leyti að aðgangur minn að hinum ýmsu ritum hefur verið all-misjafn: svo dæmi sé tekið varðandi efnafræðirannsóknir á tímabilinu 1870-1900, hefur mér verið auðveldara að ná í greinar úr tímariti þýska efnafræðifélagsins en úr tímaritum breska og þó einkum franska félagsins. Skráin endurspeglar einnig, að almennt hefur verið minni fyrirhöfn við að hafa upp á efni úr þekktum tímaritum útgefnum í þessum þrem löndum og í Bandaríkjunum en úr ritum frá öðrum löndum. Að auki er ljóst að margar greinar um notkun silfurbergsprisma úr fagtímaritum um t.d. sykuriðnað, ljósmyndun, smásjár, litun, lífeðlisfræði, burðarpólsfræði, lýsingartækni, augnsjúkdóma, glergerð o.s.frv. og sum sérhæfð svið innan efnafræði hef ég ekki komist til að afla mér. Meðal annars efnis frá 19. öld sem oft er erfitt að nálgast til skoðunar en gæti innihaldið áhugaverðar upplýsingar, eru sérprentaðar doktorsritgerðir, verðlistar og fleira kynningarefni um tæki frá verkstæðum og söluaðilum, afmælisrit (*Festschriften*), og tímarit útgefin af litlum félögum.

1.4 Væntingar

Það er von mín, að við Íslendingar förum brátt að veita þessari merku afurð landsins, silfurberginu, og námunni við Helgustaði, meiri athygli en verið hefur mestalla 20. öldina. Sér í lagi ætti að kynna sögu þess í skólum landsins og á vettvangi ferðaþjónustu eystra. Þeim sem þetta skrifar, hefur óneitanlega fundist ýmsir aðilar sem hagsmuni gætu haft af aukinni kynningu námunnar, hafa verið seinir til að átta sig á staðreyndum um heimssögulegt mikilvægi hennar. Huga þarf að því hvernig bæta má aðgengi að námunni án þess að hún spillist. Til lengri tíma litið mætti t.d. hugsa sér gerð bókar og heimildarmyndar um silfurbergið til alþjóðlegrar dreifingar, og safn, safndeild og/eða sýningu á Eskifirði varðandi það.

Búast má við, að frekari rannsóknir á silfurberginu sjálfu og öllu jarðfræðilegu umhverfi þess með nútíma tækni gefi nýjar og markverðar niðurstöður um myndunar-aðstæður. Sumarið 2006 birtust blaðafregnir af væntanlegu silfurbergsnámi upp af Breiðdal eystra, og er ekki óhugsandi að fleiri silfurbergs-staðir geti fundist hérlendis.



2 Um kalkstein, kalkspat, silfurberg og Reyðarfjarðar-eldstöðina

2.1 Nafngiftir

Berg í jarðskorpunni er kristallað í margskonar steindir (steintegundir, minerals). Í hverri bergtegund, eins og t.d. blágrýti, geta komið fyrir margar steindir sem sumar má kalla upprunalegar í berginu en aðrar hafa orðið til síðar, við ummyndun þess. Hrein steind getur verið úr einu frumefni (t.d. demantur) eða samband margra frumefna. Í náttúrunni innihalda flestar steindir einhver óhreininda- og aðskotaefni sem m.a. geta breytt lit þeirra. Þekktar eru um 4000 steindir en flestar afar fágætar; samkvæmt kynningarpesa steindasafns Hafnarháskóla eru tíu þær algengustu taldar mynda um 95% af jarðskorpunni.

Hér má koma að atriði varðandi nafngiftir á steindum, sem á 18. öld og fyrr tóku nokkuð mið af útliti og eiginleikum steindanna. Heitið „spat“ mun samkvæmt orðabókum vera af þýskum uppruna og eiga við steindir sem auðvelt var að kljúfa og voru oft ljósleitar og/eða gljáandi. Í stóru frönsku alfræðibókinni (útg. 1751-80) er vitnað til sænska steindafræðingsins Wallerius sem hafði skilgreint níu tegundir af spati. Flestar steindir með spat-heitum eru málmkarbonöt, en ekki allar, t.d. flússpat og feldspat.

Meðal algengustu steinda í náttúrunni eru kvars (SiO_2 , í ýmsum myndum), og sú sem hér verður fjallað um, kalsiumkarbonat CaCO_3 . Á ensku var sú steind (eða efnasambandið almennt) fyrr á öldum nefnd carbonate of lime, calcareous spar eða calc-spar, á þýsku Kalkspath eða kohlensaure Kalkerde, á frönsku chaux carbonatée eða spath calcaire. Styttra nafn, á ensku calcite, var gefið sjaldgæfari steind 1836 (sjá Des Cloizeaux 1843) en festist svo smám saman við kalsiumkarbonat-kristalla af tiltekinni gerð og er þekktasta nafn á þeirri gerð nú. Ég mun nota hér orðið kalkspat fyrir þá kristalgerð, sjá síðar. Orðið kalkstein má þá nota í víðri merkingu um jarðmyndanir úr kalsiumkarbonati, svo sem setlög úr skeljum sjávardýra (krít, marmara o.fl.).

Silfurberg er íslenskt nafn á glærum kalkspatkristöllum sem finnast víða í bergi hér á landi og eru orðnir þar til við ummyndun þess af völdum jarðhitavatns. Þessi gerð kalkspats, einkum í stórum tærum kristöllum, var nefnd Iceland spar (síðar einnig optical calcite) á ensku, (isländischer) Doppelspat á þýsku, og spath d'Islande á frönsku.

Kristalla íslenska silfurbergsins má kalla skáteninga (rhomboeder) þar sem hliðarnar eru samsíðungar. Hornin milli hliðanna eru um $105^{\circ}05' / 74^{\circ}55'$, og horn hvers samsíðungsflatar eru um $101^{\circ}55' / 78^{\circ}05'$, í stað þess að öll séu 90° eins í venjulegum teningi. Eðlismassi hreins efnis er $2,71029 \text{ g/cm}^3$ skv. samantekt Birges (1941).

2.2 Megineldstöðin í Reyðarfirði, og silfurbergið þar

Uppbygging bergmyndana Íslands síðustu 15 milljón ár hefur að mestu orðið í svonefndum megineldstöðvum. Breski jarðfræðingurinn G.P.L. Walker (1959) kortlagði jarðmyndanir við Reyðarfjörð og nefnir þar að megineldstöðvar séu á Austfjörðum, sem ekki hafði verið mikið rætt fyrr. Hann tekur það þó ekki fram fyrr en í grein árið eftir, að ein þeirra sé við Reyðarfjörð. Hún er aflöng til norðurs og suðurs og nær þvert yfir fjörðinn. Gangasveim tilheyrandi henni má rekja norður til Mjóafjarðar og suður yfir Fáskrúðsfjörð. Einnig er mikið um sillu-innskot í miðri eldstöðinni, og svæðið þar sem mest er um þau, er um 6 km að breidd (Walker 1974). Einn nemenda Walkers, I.L. Gibson (1963) vann doktorsverkefni sitt um Reyðarfjarðareldstöðina, en fer þar sáralítið út í ummyndun. Hann sýnir aðeins á korti að það svæði mestu ummyndunar (propylitized zone) sem nær stutt upp á land við Helgustaði, nái einnig upp á land sunnan Reyðarfjarðar. Öskjusigi (caldera) virðist ekki hafa verið lýst í þessari eldstöð. Aldur hennar má áætla að sé í kringum 11 milljón ár, og æviskeið hvernar slíkrar eldstöðvar hefur verið talið vera um hálf milljón ára.

Í megineldstöðvum og umhverfis þær hefur jafnan orðið mikil ummyndun af völdum heits vatns sem leysir upp efni úr berginu, og þau falla svo út annarsstaðar þar sem kaldara er. Þekktustu steindir sem myndast á þennan hátt á Íslandi, eru svonefndir geislasteinar (zeolítar) sem eru kísilsýrusambönd af alkalimálum o.fl. með kristalvatni í, og ýmis afbrigði af kvasi (jaspis, opal, draugasteinar). Einnig myndast kalkspat, í kristöllum sem oftast eru minni en 1-2 cm. Þessháttar kristallar eru flestir óreglulega vaxnir og samsettir, vegna aðstæðna s.s. þeirra að hitastig vatnsins, þrýstingur og efnasamsetning hafi breyst á meðan kristallarnir voru að falla út. Á a.m.k. einum stað við Reyðarfjörð hafa hinsvegar einhverra hluta vegna verið fyrir hendi aðstæður til þess að margir mjög stórir, hreinir og reglulegir kristallar gátu myndast í holrúmum í blágrýtinu. Silfurbergið kom einkum fram á bletti í 90-100 m hæð yfir sjávarmáli utan við bæinn Helgustaði, við læk er í árunna rás hafði brotið úr berginu og borið kristalla með sér niður eftir.

3 Silfurbergið vekur athygli – sagan fram yfir 1700

3.1 Söfnun steinda á fyrri öldum – Ole Worm og Íslendingar

Á 16.-18. öld var það vinsælt meðal fræðimanna, aðalsins og ríkmennis, að safna fallegum handverksgripum, hlutum frá fjarlægum löndum, fornminjum og náttúrugripum, svo sem athyglisverðum steindum og steingervingum (sjá t.d. Wilson 1994). Slík söfn nefndust „Kunstkammer“ eða „Naturalienkabinet“. Eitt slíkt safn, að líkindum það stærsta í Evrópu, var í eigu danska fjölfræðingsins Ole Worm, sem lést 1654. Worm stóð meðal annars í sambandi við nokkra Íslendinga sem útveguðu honum gripi í safnið (sjá Jakob Benediktsson 1948, Schepelern 1965-68, 1971) og hefur mikið af bréfaskiptum þeirra á milli varðveist. Einn þeirra var Vísi-Gísli Magnússon, sýslumaður í Múlaþingi frá 1649, sem hafði numið náttúruvísindi og dvalist í Danmörku, Leiden í Hollandi, og Englandi. Gísli var og mjög áhugasamur um íslenskar jarðmyndanir, meðal annars um brennisteinsnám. Er hugsanlegt, að Gísli eða aðrir hafi sent Ole Worm eða Willum syni hans mola af íslensku silfurbergi, en ekkert kemur skýrt fram um það í fyrrnefndum bréfum. Ekki er heldur vikið að því sérstaklega í öðrum skrifum Gísla sem varðveist hafa, svo sem í bréfum til sonar hans í Kaupmannahöfn 1669-70 (Jakob Benediktsson 1939). Worm var tengdur hinni merku Bartholin-ætt, og Rasmus Bartholin sem kemur við sögu hér á eftir, hafði einnig dvalist í Leiden. Eftir lát Ole Worms eignaðist Friðrik konungur III náttúrugripasafn hans, enda var hann sjálfur áhugasamur um slíka söfnun.

Svo vill til, að einn verslunarstaðurinn á Austfjörðum á tímum einokunar-verslunarinnar (sem hófst 1602) var staðsettur í Stóru-Breiðuvík í Reyðarfirði, þar sem nú stendur bærinn Útstekkur stutt utan við fundarstað kristallanna. Má láta sér detta í hug, að glöggir bændur á svæðinu eða starfsmenn verslunarinnar í Stóru-Breiðuvík hafi tínt upp kristalla úr opnunni eða jarðvegi þar fyrir neðan, og þeir síðan verið fluttir til Kaupmannahafnar með skipum þeirra kaupmanna sem höfðu einkaleyfi til verslunar í Reyðarfirði. Á árunum 1662-83 voru þessir kaupmenn tveir, annar þeirra Christopher Hansen sem til 1664 var var einn fjögurra borgarstjóra Kaupmannahafnar. Hann var tengdafaðir hins merka læknis og líffærafræðings Thomasar Bartholin, bróður fyrrnefnds Rasmusar.

Ekki hef ég leitað frekari samtímaheimilda um það hvernig silfurberg hafi borist til útlanda á árunum 1660-1800. Í tilskipun Friðriks III. frá 31. júlí 1662 um einokunarverslunina segir í 11. grein: „...hvis Svovl, Salpeter, Mineralier, eller anden Ertz, som der i Landet kan bekommes og vi ved voris Betjente lader tilveiebringe, skal bemeldte Hovedparticipanter...sligt udi deris

Skibe, som der nest ere beliggendis og hid ville, indskibe og for billig Fragt her hidføre“. Í tilskipun Kristjáns V. frá 29. jan. 1684 um nýtt fyrirkomulag verslunarinnar við Ísland er á sama hátt tekið fram, að „...Mineralier og andre Rariteter...som der i Landet findes, skal de...holde Os til Bedste, og for billig Fragt med deris... Skibe lade hidføre...“.

3.2 Fyrstu heimildir um silfurbergið – Rasmus Bartholin og ritgerð hans 1669

Það fyrsta sem er vitað með vissu um silfurbergið við Reyðarfjörð, er í tilskipun frá Friðrik konungi vorið 1668 (*Mynd 3-1*) um að þangað skuli sendur steinhöggvari til að vinna það (Lovsamling for Island I, bls. 321), og í bréfi um að honum skuli útveguð verkfæri (sjá Garboe 1918, Buchwald og Pedersen 1991). Málið hlýtur þó að hafa haft einhverja forsögu eins og tæpt er á hér að ofan.

Síðan kemur út í Kaupmannahöfn hin afar merka bók Rasmusar Bartholins (1669, *Mynd 3-1 og Mynd 5-2*) um ýmsar rannsóknir hans á íslenskum silfurbergskristöllum og þá einkum þeim sérstæðu áhrifum sem þeir höfðu á ljós. Bartholin, sem varð prófessor í geometríu við Hafnarháskóla 1656 og í læknisfræði 1657, var af merkum ættum lærdómsmanna. Í kafla um Bartholin í Dansk Biografisk Leksikon er rannsókn hans á íslensku kristöllum (fyrir utan ljóseiginleikana !) talin svo merkileg, að hann „...med rette ved siden af Steno nævnes som kristallografiens grundlægger“. Þetta vísar til þess, að sama ár og bók Bartholins kom út, setti landi hans Niels Stensen (nemandi Thomasar B.) fyrstur fram að horn milli flata í kvars- og hematitkristöllum hefðu föst gildi meðan kristallinn yxi (Flint 1971, o.m.fl.). Lang (1868) færir rök fyrir þeirri staðhæfingu, að „Das eigentliche Studium der Krystalle aber knüpft sich wohl erst an die Entdeckung des Doppelspathes...“.

Margskonar eiginleikar ljóss voru þá þegar þekktir, svo sem varðandi brotnun ljósgeisla í gleri og vökvum. Þar gildir, að bæði endurkastaði og brotni geislinn liggja í þeim fleti (innfallsplaninu) sem innfallandi geislinn og hornrétt lína á yfirborðið í innfalls-punktinum ákvarða. Lögmál Snells sem fyrst var birt 1637, segir síðan að ef innfallshorni ljósgeisla úr lofti á sléttan flöt efnis sé breytt, megi finna brothornið úr jöfnunni $\sin b = \sin i / n$. n er tala sem er í kringum 1,33 fyrir vatn og um 1,5 fyrir venjulegt gler. n er einnig háð lit ljóssins, og breytist t.d. í einni tiltekinni glertegund milli enda hins sýnilega litrófs úr 1,508 fyrir rautt ljós (700 nm) í 1,525 fyrir fjólublátt (400 nm). Sá breytileiki nefnist ljósvístur (dispersion), og olli þeim sem rannsökuðu samspil ljóss og efna, hvað mestum heilabrotum öldum saman.

Hegðun silfurbergsins lýsti sér meðal annars í því, að ef kristall af því var lagður á blað með punkti á, sást hann sem tveir álíka dökkir punktar hlið við hlið (*Mynd 3-1*), en annar virtist þó vera ofar. Ef kristallinum var snúið um lóðréttan ás gegnum punktinn, var önnur ímyndin kyrr en hin (sú neðri) snerist með kristallinum í kringum hana. Þetta kannaði Bartholin nánar af mikilli hugkvæmni og skarpskyggni. Rannsóknir hans sýndu að leið ljóss frá punktinum sem kyrr var, fylgdi brotlögmáli Snells. Ljósgeisli sem lenti á kristallinum skiptist þannig í tvennt og réðu grundvallarform kristalbyggingarinnar (en ekki t.d. lengd eða breidd þess mola sem notaður var, eða endurkast frá flötum inni í kristallinum) miklu um leið þá sem hreyfanlegi geislinn færi. Þetta „tvöfalda ljósbrot“ var algerlega nýtt fyrir mönnum.

ERASMI BARTHOLINI
EXPERIMENTA
 CRYSTALLI ISLANDICI
 DISDIACLASTICI
Quibus mira & insolita
 REFRACTIO
detegitur.

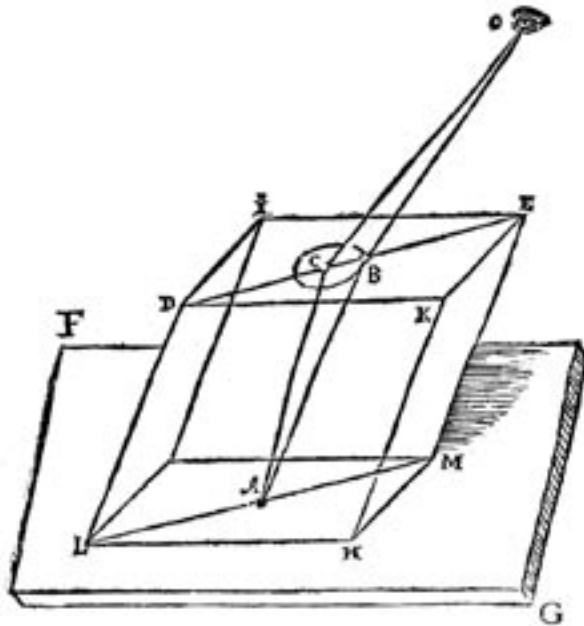


HAFNIÆ,
 Sumptibus DANIELIS PAULLI Reg. Bibli.

Reskript til Kammer-Collegium, ang. Kry-
 stalbrydning i Island. Khavn 11. April 1668.
 — Sielt. Tegn. XXXVIII, 409.

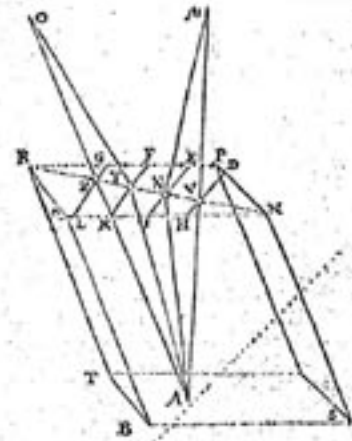
Frederik den Tredie &c. V. S. G. T. Voris naa-
 digste Villie og Befaling er, at I udi sex Maaneders Tid
 til den islandske Krystal at udbryde antager og bestiller
 en Stenhuggersvend, og samme til maanedlig Besolding
 imidlertid lader bekomme 12 Rigsdaler; item en Mand
 til hannem om Maanedes 8 Rigsdaler; nok som vil be-
 høves udi ndskillige Maader til Arbeidet at fortsætte, Penge
 80 Rigsdaler; disligeste 6 Maaneders Proviant, nemlig en
 Skipper-Kost for Stenhuggeren selv og en Baandsmands-
 Kost imidlertid for den som hannem medfølger. Dermed
 &c. Hafn. 11. April 1668.

re, neque imago in superficie nisi remotione ob-
 jecti vacillare; heic observavimus, unam ex dua-



bus imaginibus esse mobilem: id quod hac ra-
 tione indagare licet. In schemate præcedente,
 C 3 ma-

remains unmoved. Wherefore in this Transparent Substance
 the Image which appears fixt, may proceed according to the
 ordinary Law of Usual Refraction; but that, which moveth,
 and is carried about according to the motion of the Diapha-
 nous Body, while the Object remaint unshred, sheweth an
 Unusual kind of Refraction, hitherto un-observed by Dip-
 tricians.



Hence, that I might examine the nature and difference of
 both, I put, upon some Object, as the point A, the Prisme of
 my Double-refracting Crystal N, P, R, Q, T, B, S; and
 the Eye M, being perpendicularly posited over the upper
 plain of the Prisme N, P, R, Q, I noted, whether there
 was any Refraction of the point A, (for the usual Law of
 Refraction teach, that there is none.) But the Perpendicu-

Mynd 3-1. Að ofan t.v.: Forsíða bæklingar Rasmusar Bartholins (1669). T.h.: Konungsbréf um kristallánám við Helgustaði. Að neðan t.v.: Teikning úr bæklingi Bartholins, sem sýnir hvernig B, önnur ímynd punktsins A, snýst þegar silfurbergskristalli er snúið um lóðréttan ás. T.h.: Um tilraunir Bartholins (1671).

3.3 Rannsóknir Huyghens, 1670-90

Bók Bartholins barst til konunglega breska vísindafélagsins og birtist útdráttur úr henni í riti þess (Bartholin 1671, *Mynd 3-1*) og raunar víðar (sjá Romé Delisle 1772). Bartholin benti einnig á í smágrein í öðru tímariti 1671 að nánari rannsókna á þessum eiginleikum væri þörf (Garboe 1949). Frá Leiden var Rasmus Bartholin kunnugur Hollendingnum C. Huyghens (*Mynd 5-1*). Bartholin sendi honum og ýmsum öðrum (sjá Garboe 1949) íslenska silfurbergskristalla. Huyghens gerði á þeim (um 1677, sjá Garboe 1959, bls. 86) mælingar sem hann skrifaði um einn af sex köflum stórmerkra bókanna sinnar um ljósið. Huyghens mun hafa kynnt rannsóknir sínar í frönsku akademiunni 1679 (Bruhl-Metzger 1914) en nokkur tími leið uns bókin (Huyghens 1690, *Mynd 3-2*) birtist á prenti. Shapiro (1973) og F.J. Dijksterhuis (uppl. af Internetinu, 2005) sem hafa skoðað dagbækur og bréf Huyghens, telja tvöfalda ljósbrotið vera þungamiðju í þessu verki hans, og jafnvel helstu ástæðuna fyrir ritun bókarinnar.

Kenning Huyghens um ljós var sú, að það væri bylgjuhreyfing sem bærst um efni og tómarúmið, í þunnu og léttu fjaðrandi efni sem nefndist aether eða ljósvaki. Inni í efnunum hefði ljósvakinn eiginleika sem stjórnuðust á einhvern hátt af viðkomandi efni. Þekkt var, að hraði ljóssins er ekki óendanlega mikill, eftir athuganir sem Ole Rømer (aðstoðarmaður og síðar tengdasonur Bartholins) birti 1676. Sérhver ögn inni í efni sem verður fyrir ljósi, sendir við það frá sér ljósvakabylgju sem er kúlulaga. Samþætting kúlubylgna frá mörgum ögnum getur myndað breiðan bylgjustafn eða mjóan geisla, eftir atvikum. Ef ögn sem sendir frá sér bylgju, er stödd á sléttum skilfleti milli tveggja mismunandi efna, berast frá henni tvær hálfkúlu-bylgjur misstórar, hvor í sínu efni. Auðvelt er að sýna, að hraði ljóssins í efnunum (þ.e. radius hvorrar hálfkúlu eftir 1 sek.) hlýtur að vera í öfugu hlutfalli við brotstuðulinn. Þessu er farið öfugt við hljóðbylgjur að því leyti, að hraði þeirra eykst eftir því sem efnið er „þéttara“. Annar munur á ljós- og hljóðbylgjum er sá að í hljóðbylgjum er hraðinn óháður bylgjulengd, þ.e. þær tvístrast ekki.

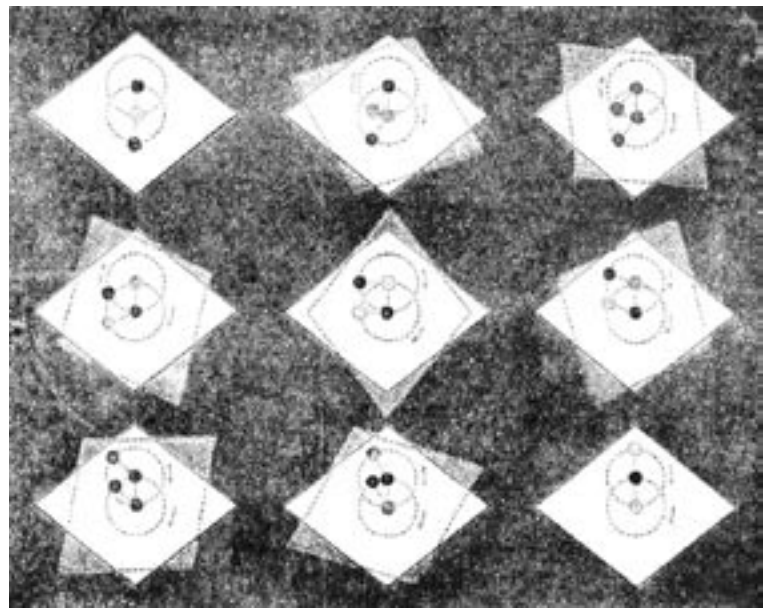
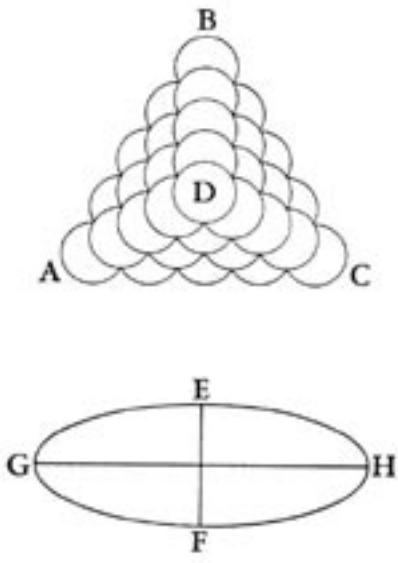
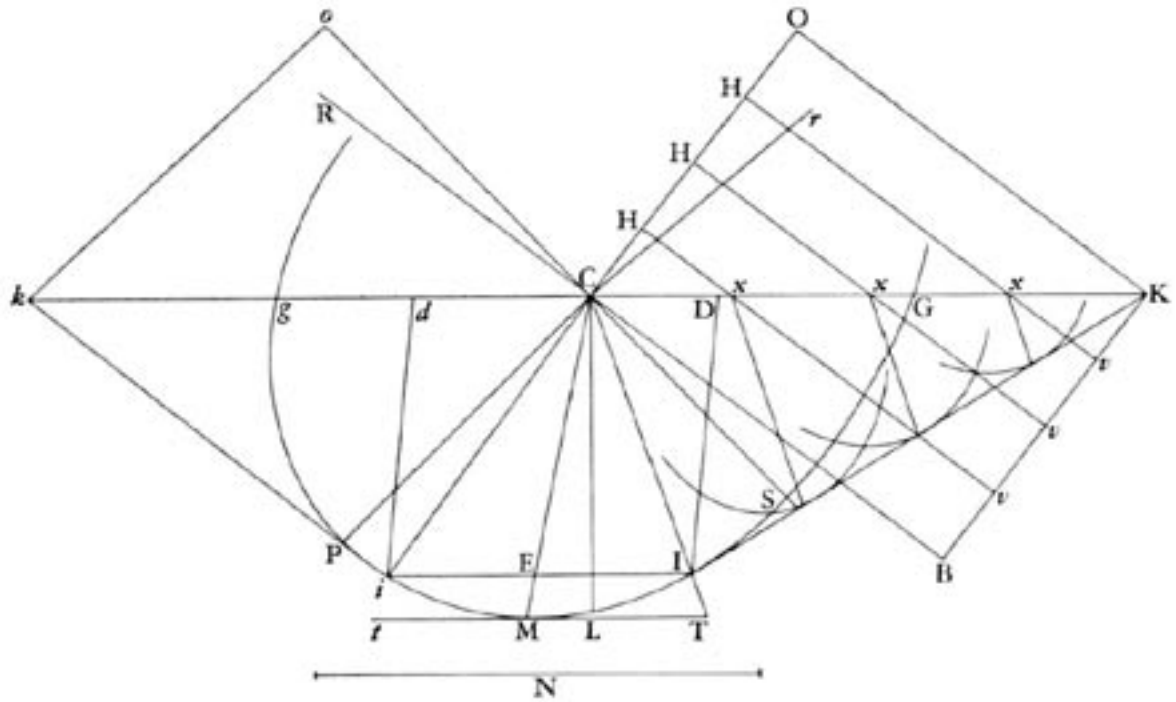
Huyghens setti á skilmerkilegan hátt fram í bók sinni þá afar mikilvægu tilgátu, að í silfurberginu gæfi hver efnisögn frá sér tvær bylgjur: önnur væri kúlulaga en hin sporvöluferill (ellipsoíða) þ.e. yfirborð sem kemur fram þegar ellipsu er snúið um ás sinn. Ellipsoíðan væri alltaf samhverf um tiltekna stefnu (sem síðar var nefnd ljósás) í kristallinum, þ.e. stefnuna „mitt á milli“ allra þriggja kanta kristallsins þar sem þeir koma saman undir 102°-hornum. Með nútíma mælingum reynist kúlu-bylgjan samsvara brotstuðlinum $n_o = 1,658$ (o fyrir „ordinary“; talan á við gult ljós) en hin brotstuðli frá $n_e = 1,486$ (e fyrir extraordinary) upp í 1,658.

Eitt sem Huyghens áttaði sig á varðandi ljósið sem hafði farið í gegnum silfurbergið, var það að silfurbergið skipti ekki bara ljósgeislanum í tvo daufari geisla, heldur *breytti* það einnig eðli ljóssins sem komst í gegn. Þetta mátti sjá með því að setja tvo silfurbergsmola hvorn ofan á annan, og snúa þeim efri um lóðréttan ás, sjá *Mynd 3-2*.

Fleira athyglisvert er í skrifum Huyghens (1690, og bréfaskiptum) um silfurbergið, svo sem sú tilgáta að kristallar þess væru byggðir úr litlum ellipsoíðulaga eindum (*Mynd 3-2*). Var ýmsu af því ekki gefinn nánari gaumur fyrr en á 19. öld.

3.4 Newton, um 1700

Englendingurinn Isaac Newton hafði einnig gert mikilvægar rannsóknir á ljósi, og birti niðurstöðurnar í bók sinni „Opticks“ sem fyrst kom út 1704. Hann taldi ljós samanstanda af ögnum sem bærust eftir beinum línunum frá lýsandi hlut. Hann hafði einnig hugmyndir um



Mynd 3-2. Að ofan: Teikning Huyghens (1690) af geisla RC sem fellur á yfirborð silfurbergs, kCK, og myndar ellipsoiðulaga bylgju inni í efninu. Hið sama gera geislarnir Hx,Hx,Hx og OK úr sama bylgjustafninum, og í silfurberginu verður bylgjustafninn SK snertill við ellipsoiðurnar. Að neðan t.v.: Teikning Huyghens af samsetningu silfurbergs úr ögnum. Þarna eru þær kúlar en hann taldi þær fremur vera að lögun eins og ellipsoiður, fengnar með snúningi um þvermálið EF. Hann vekur einnig athygli á samhverfu silfurbergskristalls kringum eitt horn hans. Þessar tvær myndir eru úr enskri þýðingu bókar Huyghens, 1952-útgáfu. T.h.: Horft niður gegnum tvo eins silfurbergskubba á dökkan blett á blaði undir neðri kubbum. Á fyrstu myndinni snúa þeir eins. Þegar Huyghens sneri efri strendingnum hálfan hring með úrvísun í átta skrefum, sáuð fjórir eða tveir misdaufir blettir og síðast einn dökkur. Úr bók Paulsens (1893).

Ljós vaka sem var öðruvísi en ljósvaki Huyghens, en birti þær aðeins að litlu leyti. Newton (1706, og í síðari útgáfum *Opticks*) ræðir um eiginleika „Island Crystal“. Ekki sýnist mér alveg ljóst af textanum hvort hann hefur sjálfur skoðað silfurbergskristalla, en mjög er líklegt að hann hafi fengið þá hjá Huyghens, sem kom til Englands 1689: þá ávörpuðu þeir báðir fund í Konunglega vísindafélaginu varðandi tvöfalt ljósbrot (Hall 1993, bls. 131).

Í *Opticks* varpar Newton fram nokkrum spurningum (queries) um þessa kristalla, m.a. þeirri tilgátu að kannski hafi ljósagnirnar tvennskonar mismunandi „hliðar“ (svipað og seglar hafa tvö skaut) sem dragist á mismunandi hátt að hliðum Íslands-kristallsins á leið sinni í gegn. Samkvæmt kenningu Newtons áttu ljósagnir að fara því hraðar í gegnum efni sem brotstuðullinn væri hærri. Þannig hefði verið hægt að gera strax upp á milli kenninganna með beinum mælingum á hraða ljóssins, en tækni til þess varð ekki nægilega nákvæm fyrr en 1850.

Huyghens og Newton var báðum kunnugt að bergkristall (glært kvars) sýnir einnig tvöfalt ljósbrot. Munur brotstuðlanna í kvars er hinsvegar miklu minni en í silfurbergi (tæplega 0,01 í stað 0,17), og það á við um margar aðrar tegundir kristalla með tvöfalt ljósbrot. Ef þessi hegðun hefði ekki uppgötvast í silfurbergi Bartholins, hefði henni því vart verið veitt athygli fyrr en löngu seinna. Barnard (1863) segir í yfirlitsgrein um ljósfræði: „...this property of double refraction is exceedingly common...It is only in Iceland spar, however, that it manifests itself in a degree remarkable enough to attract attention ..., and in most cases it can only be detected by special arrangements.“ Hann nefnir einnig stærð og gegnsæi silfurbergskristallanna í þessu sambandi.

4 Kristallafræði, ljós o.fl., 1700-80

4.1 Fátt gerðist varðandi tvöfalt ljósbrot

Alla 18. öldina og lengur treystu menn agnakenningu Newtons um ljósið, enda bar hann höfuð og herðar yfir aðra á þeim sviðum raunvísinda þar sem hann lét að sér kveða. Frönsk þýðing á bók hans um ljósið kom út 1787, og gerði hana J.-P. Marat sem þekktari er fyrir framlag sitt til stjórnarbyltingarinnar. Marat samdi sjálfur bók um ljósfræði en nefnir ekki tvöfalda ljósbrotið þar.

Eina birta ritgerðin um silfurberg sem ég hef séð frá fyrri hluta 18. aldar er eftir la Hire (1710), sjá Buchwald (1980); þar er því lýst til samanburðar við bergtegund frá París og sagt frá mælingum Bartholins og Huyghens. Í minningargrein um C.-F. de C. Dufay í Mémoires frönsku vísindaakademiunnar 1739 (bls. 71-83) er Dufay sagður hafa rannsakað tvöfalt ljósbrot í Cristal d'Islande, bergkristalli og fleiri pierres transparentes, en ekki fengið lokið því verki. Hann hafi m.a. fundið að allir þeir kristallar sem hafa rétt horn, sýna ekki tvöfalt ljósbrot, en aðrir geri það.

Hegðun ljóssins í silfurberginu hefur að líkindum verið af mörgum talin stafa af sjaldgæfum og afbrigðilegum áhrifum kristallsins á það. Ýmsa aðra eiginleika ljóss var brýnt að rannsaka, svo sem ljósvístur sem fyrr var nefnt, gleypingu (absorption) hinna ýmsu lita í efnum, sjónina, endurkast ljóss frá flötum, orsakir fyrir útgeislun ljóss, o.fl. Eini vísindamaðurinn sem að kvað og studdi bylgjukenninguna og ljósvaka Huyghens, var L. Euler (í bók 1746, tilv. af Born og Wolf 1999, og e.t.v. aftur 1769). Hann fékk litlar undirtektir (sjá Brougham 1803), og skrifaði ekkert um tvöfalt ljósbrot. Séð hef ég einnig nefnt í nýlegri grein (Physics Today, okt. 2003), að Benjamin Franklin hafi aðhyllst bylgjukenninguna.

Prófrítgerð E. Malms (1761, *Mynd 4-1*) fjallar um ljósbrotið í silfurbergi, en hún er stutt og ekki virðast mér vera þar nýjar uppgötvanir. Á þessu tímabili má einnig nefna G. Beccaria (1762) sem ritar m.a. um tvöfalt ljósbrot í kvarsi, og var hann kunnugur ritum Huyghens og Newtons.

Síðan verður að nefna til sögunnar tækjasalann B. Martin í London, sem jafnframt fann upp sjálfur og smíðaði ýmis sjóntæki auk þess að vera afkastamikill við ritstörf og námskeiðahald um raunvísindi, sjá Williams (1863) og Moe (1990, einkum bls. 103-110). Martin (1774) gaf út bækling með tveim ritgerðum um hina merku ljóseiginleika „Island Crystal“, sjá *Mynd 4-1*. Þar er sagt frá ýmsum tilraunum hans á þessum kristöllum, meðal annars smíði linsa (með tvo brennipunkta) úr þeim. Martin nefnir, að mikið af kalkspatkristöllum finnist í Darbyshire-héraði (en form þeirra er þó annað en þeirra íslensku, sjá Naumann 1885). Rannsóknir Martins virðast ekki hafa vakið verulega athygli samferðamanna, að sögn Brewsters (1822-23).

L. N. 7.
DISSERTATIO GRADUALIS,
DE
**REFRACTIONIBUS
CRYSTALLI
ISLANDICÆ,**
QUAM,
CONSENT. AMPLISS. FACULT. PHILOSOPH.
IN REGIA ACADEMIA UPSALIENSI,
MODERANTE
**MAG. SAMUELE
DURÆO,**
PHYS. PROFESS. REG. ET ORD.
REG. ACAD. SCIENT. HOLM. MEMB.
PUBLICÆ FENTILANDAM EXHIBET,
ALUMNUS REGIUS,
ERICUS MALM,
SUDERMANNUS.
IN AUDITORIO GUSTAVIANO DIE X. JUNII
ANNI MDCCCLXI.
HORIS ANTE MERIDIEM CONSPETIS.

UPSALIÆ

Tom dem
die Bilder verdoppelnden sogenannten
Isländischen Crystall,
oder
Doppelspath.
von
J. E. Silberschlag.
3te und 4te Tafel.

§. 1.

Der so genannte Isländische Crystall gehöret zu den Kalkspathen, und ist oft in einem hohen Grade durchsichtig, zuweilen aber nebet sein Glanz. Sein Körper stellt nicht nur im Ganzen ein rhomboidalisches Prisma vor, sondern er zerbrechet auch in lauter kleinen Rhomboiden, nicht anders, als ob er aus lauter verschiedenen rautenförmigen Theilen zusammengefüget wäre.

Bildet sein Körper eine Rhomboide: so versteht es sich von selbst, daß seine einander gegenüberstehende Seiten einander gleich, und jede seiner Flächen von zween stumpfen und eben so vielen spitzen Winkeln eingeschlossen seyn müsse. Die stumpfen Winkel

TWO
ESSAYS
ON THE
NATURE and wonderful PROPERTIES
OF
Island **CRYSTAL.**

ESSAY I.

CONTAINING,

All that has been hitherto delivered in regard to its Form, Dimensions, and double Refraction of Light; with the Addition of several New Experiments with polished PARALLELOPIPEDS and PRISMS made of this Substance, which discover a *various, multiple, and colorific* REFRACTION; and exhibit a *Variety* of IMAGES of one and the same Object.

To which is subjoined,

A Computation of the magnifying Power of Reflecting Telescopes; and a Table thereof, from 6 Inches to 12 Feet in length.

The Whole illustrated with COPPER PLATE FIGURES.

By **BENJAMIN MARTIN.**

**VARIÆ CRYSTALLORUM
FORMÆ,**

A SPATHO ORTÆ,
EXPLICATÆ

A
TORBERNO BERGMAN,

CHEM. ET METALLURG. PROF. EQVTT. REG. ORD.
DE WASA.

Crystalli salinæ, lapideæ, pyritaceæ & metallicæ corporum geometricorum tantam primo intuitu offerunt varietatem, ut forma, modis fere infinitis multiplicata, nobiscum ludere videatur Natura. Hisce vero singulis sedulo consideratis compar-

Spathum calcæreum, uti notum est, tessera constat seu parallelepipedo obliquo, cujus omnia plana rhombæam habent figuram eius indolis, ut anguli obtusi gradibus $101\frac{1}{2}$, acuti vero singuli $78\frac{1}{2}$ sint æquales. Dispiciamus jam, quomodo ex hac, sola parallelogrammorum similibus idonea accumulatione, crystalli generari possint diversissimæ.

Mynd 4-1. Úr fjórum greinum um kristalla- og ljósfræði 1760-80. Að ofan: Forsíður ritgerðar E. Malms (1761) og ritgerða B. Martins (1774) um silfurberg. Að neðan t.v.: Síða úr grein Silberschlags (1787) um silfurberg, og t.h.: Forsíða og málsgrein um silfurberg úr grein Bergmans (1773).

Örfáum árum eftir útkomu bæklinga Martins var Ólafur Olavius (1780) á ferð um Ísland að kanna landshagi, og kom hann að silfurbergs-opnunni við Helgustaði. Segir svo í íslenskri þýðingu ferðabókar hans sem var m.a. gefin út á þýsku 1787 og 1805: „Oft hefur verið reynt að grafa steintegund þessa upp og sprengja mola úr henni, en að sögn hafa ekki fengizt þyngri en 10 punda molar...“. Sjálfur náði hann 42 punda stykki með hjálp nokkurra manna. Hann nefnir fyrri hugmyndir um að íslenskir skrautsteinar verði notaðir í altaristöflur, og stingur upp á því að reynt verði að steypa silfurberg í vegg konunglegra lystihalla.

Í útgefnum handritum hins fræga efnafræðings A. Lavoisier kemur fram að cristal d'Islande, öðru nafni spath parallélogrammatique, hafi verið eitt margra efna sem hann prófaði að hita með brennigleri 1772-73. de Dietrich barón vísar í lýsingu sinni á ýmsum jarðfræði-fyrirbrigðum Pyreneafjalla sem út kom 1786, til eldri bæklinga sem nefnt hafi að spath d'Islande hafi fundist þar. Að síðustu má nefna steindafræði Buffons greifa (1786) sem lýsir m.a. rannsóknum Bartholins og ýmsum athugunum er Buffon gerði sjálfur á cristal d'Islande eða spath d'Islande, sumar þeirra 1742. Buchwald (1980) segir hann lítt átta sig á þeim eiginleikum tvöfalda ljósbrotsins sem Huyghens hafði lýst, og kenning um það sem Buffon setti fram, féll í gleymsku (Bruhl-Metzger 1914).

4.2 Kristallafræði til 1780

Nýjar hugmyndir um efnasambönd, kristalla, steindir og berg komu fram smátt og smátt eftir ofanefndar uppgötvanir Stensens og Bartholins 1669 sem bók Lima-de-Faria (1990) kallar „The first important experimental discoveries in crystallography“. Vísar ég á bækur um sögu viðkomandi vísindagreina, en nefni aðeins fáein atriði hér.

Það er einn megintilgangur raunvísinda, að leitast við að flokka skyld fyrirbrigði samkvæmt skynsamlegu kerfi. Um miðja 18. öld kom C. von Linné upp flokkunarkerfi fyrir dýra- og jurtaríkið, og var einnig eðlilegt að leita leiða til að flokka hina dauðu náttúru: frumefni, efnasambönd, kristalla, steindir, steingervinga og svo framvegis, allt til himinhnattanna. Linné sjálfur (um 1735 skv. Jong og Stradner 1954-56) skipti ríki kristallanna niður í flokka út frá ytra formi, gerði trélikön af þeim, og birti margar nákvæmar teikningar af kristöllum. Höfðu verk hans veruleg áhrif á þá fræðimenn sem á eftir komu.

Westfeld (1767) og Bergman (1773, sjá *Mynd 4-2*; byggt á athugunum J.S. Gahns) settu fram kenningar að kalkspatkrystallar séu byggðir upp úr lögum af skáteningum (rhomboeders), utan um lítinn kjarna, jafnvel þótt kristallinn sjálfur væri af annarri lögun (scalenoedra). Wyckoff (1922, bls. 1) segir þann síðarnefnda hafa þróað „what might be called the first geometrical theory of crystal structure“. Vel er líklegt að þeir hafi haft íslenskt silfurberg undir höndum, allavega Gahn (sjá Cuvier 1829, bls. clvi). Efnagreining Bergmans (1774, tilv. af Hauy 1801 og Hintze 1930) gaf til kynna að í kalkspati væru 11% vatn, sem ekki er rétt: hugsanlega var hann ekki að efnagreina silfurberg þarna, heldur kalkhrúður úr ölkeldum, sjá bréf til Unos von Troil sem birt er í ferðabók þess síðarnefnda frá Íslandi. Bergman var þó vel kunnugur silfurbergi; skrif frá honum um rafræna eiginleika þess (Bergman 1763) hafa varðveist. Meðal annarra rita um kristallafræði sem lýsa silfurbergi og kalla það íslenska kristalla, er bók Romé Delisle (1772).

Um 1780 varð stórt framfaraspor í vísindalegum kristallafræðum, er A. Carangeot smíðaði tæki til að mæla horn milli kristalflata. Á því voru armar sem lagðir voru að flötunum, á ensku nefnt „contact goniometer“. Á grundvelli mælinga hans setti Romé Delisle (1783) fram almenna kenningu um að horn milli flata kristalla hefðu föst gildi (eins og Stensen hafði sagt um kvars).



5 Rannsóknir Hauys ábóta o.fl. á kristöllum 1780-1830

5.1 Inngangur

Í kringum aldamótin 1800 var afstaða til steingervinga, kristalla og steinda að breytast, þannig að þau urðu í vaxandi mæli viðfangsefni vísindamanna og opinberra safna fremur en einstakra stórsafnara (Wilson 1994). Um þau aldamót tóku einnig til starfa fyrstu félög og tímarit sem voru sérstaklega helguð steindum. Steinda-salar búsettir við merka fundarstaði voru komnir til sögunnar á ofanverðri 18. öld, sömuleiðis steinda-höndlarar sem voru m.a. margir í Vínarborg.

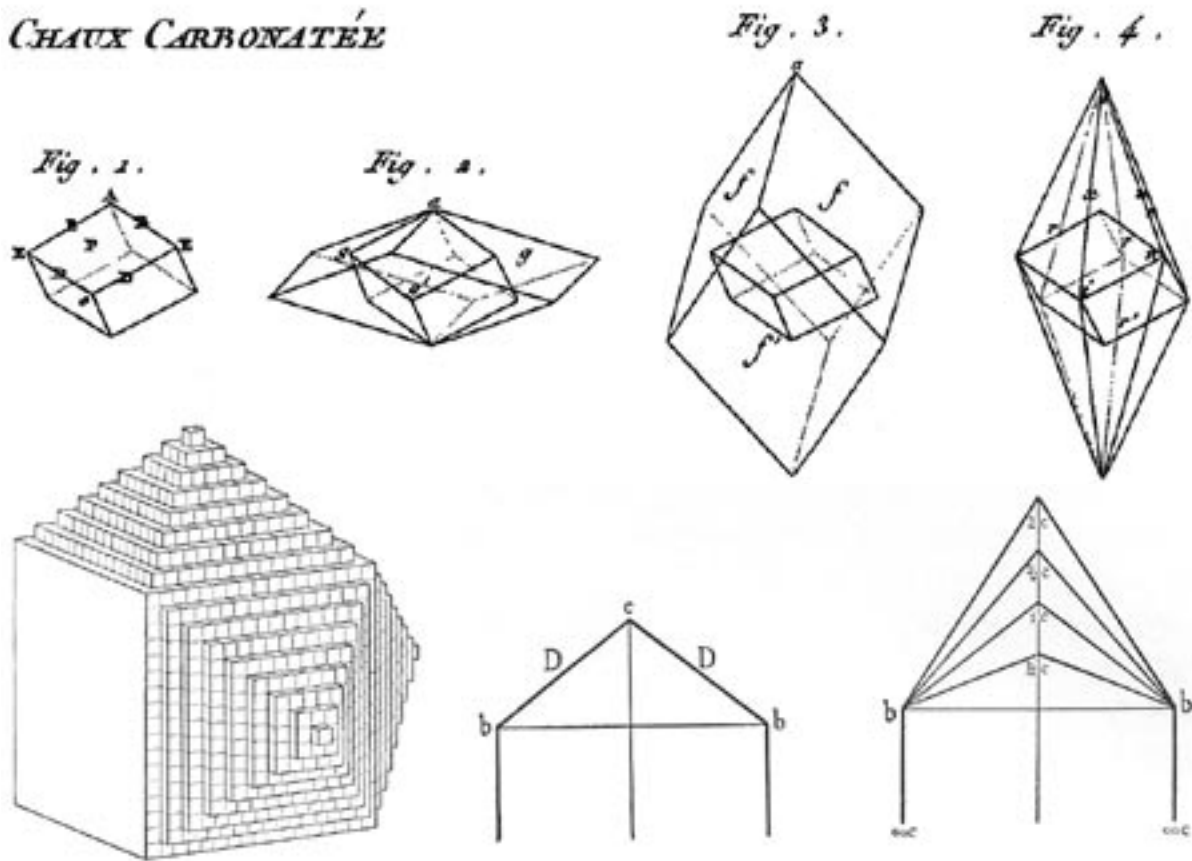
Efnafræðingar s.s. M.H. Klaproth í Þýskalandi og J.J. Berzelius í Svíþjóð, höfðu fyrir aldamótin 1800 náð góðum tökum á aðferðum til að efnagreina steindir og berg, og mörg ný frumefni voru uppgötvuð upp úr því. Fyrstu nákvæmu efnagreiningar á kalkspati voru birtar af Klaproth (1788) og fleirum, sjá heimildaskrá og Viðauka 2. Hefur þá orðið ljóst að íslensku kristallarnir voru úr hreinu kalsíumkarbonati.

5.2 Rannsóknir Hauys o.fl. á kristöllum 1780-1805

Upphaf meiriháttar framfaraskeiðs í kristalla- og ljósfræðum má miða við tilviljunar-atburð, hliðstæðan við alþekktu sögu af eplinu sem Newton sá falla. R.J. Hauy ábóti (*Mynd 5-2*) sem var mjög áhugasamur um söfnun steinda, var eitt sinn árið 1779 að handfjalla þyrpingu samvaxinna kalkspatkristalla hjá vini sínum. Hauy missti þessa þyrpingu á gólfið svo hún brotnaði, og tók þá eftir því að milli margra brotflatanna virtust vera jafnstór horn eins og á íslensku kristöllum (sem hann virðist því hafa verið nokkuð kunnugur). Við þetta kallaði hann upp yfir sig: „Tout est trouvé!“ (Cuvier 1829, og *Mynd 5-1*). Hið einfalda form íslensku kristallanna (sem er tiltölulega sjaldgæft að sjá í erlendu kalkspati, sbr. síðar) hlaut að vera það grundvallar-form, sem allir aðrir kristallar kalkspats væru byggðir upp úr þótt útlit þeirra væri fjölbreytt (*Mynd 5-1* efst). Mælingar Hauys á hornum kristalbrota og annarra kalkspat-sýna sem hann braut í sundur, staðfestu þetta (sjá Hauy 1784, 1798), og helgaði hann sig upp frá því að miklu leyti kristalla- og steindafræðum.

Meðal allmargra vísindagreina Hauys eru a.m.k. tvær sem sérstaklega fjalla um íslenskt silfurberg, og er ein um kristallafræði þess (Hauy 1782). Hauy nefnir þar „spath d’Islande“

CHAUX CARBONATÉE



Un monde nouveau semble à l'instant s'ouvrir pour lui. Il rentre dans son cabinet, prend un spath cristallisé en pyramide hexaèdre, ce que l'on appelait *dent de cochon*; il essaie de le casser, et il en voit encore sortir ce rhomboïde, ce spath d'Islande; les éclats qu'il en fait tomber sont eux-mêmes de petits rhomboïdes; il casse un troisième spath, celui que l'on nommait *lenticulaire*; c'est encore un rhomboïde qui se montre dans le centre, et des rhomboïdes plus petits qui s'en détachent.

Tout est trouvé! s'écrie-t-il; les molécules du spath calcaire n'ont qu'une seule et même forme: c'est en se groupant di-

Mynd 5-1. Efst: Hluti myndraðar um kalkspatkristalla, úr bók Hauys (1801). Í miðrið: Hugmynd Hauys um uppbyggingu kristalls í þrepum. Hallatala hliðar í kubiskum kristalli getur aðeins haft gildið a eða $a(n/m)$ þar sem n og m eru heilar tölur, oftast lágar. Á tveim myndanna er hallatala strýtu-hliðanna 1 , en á þeirri t.h. eru að auki mögulegar hliðar með halla $1/2$, $3/2$ og 2 . Neðst: Fræg saga úr minningargrein Cuviers (1829), um viðbrögð Hauys þegar hann braut óvart kalkspatkristalla og brotin höfðu lögum silfurbergskubba.

og er elsta ritmið með þessari nafngift sem ég veit af. Jafngömul er raunar bók fyrrnefnds T. Bergmans (1782), þar sem nefnt er í kafla um Calx, þ.e. kalksteindir: „Rarissime omne desideratur martiale, quo etiam contaminatum reperitur clarissimum spathum Islandicum,....“. Hin eða hinar greinar Hauys, sem ég hef ekki náð í, eru um rannsóknir á ljósbroti í silfurbergi (Hauy 1788, 1800). Langur kafli um það er einnig í 2. bindi hins merka ritverks Hauys (1801) um steindafræði. Young (1802, bls. 45; 1809) kveður ljósbrotstilraunir Hauys á silfurbergi hafa stutt hugmyndir Huyghens fremur en Newtons, en ekki voru niðurstöður Hauys þó fyllilega réttar (Buchwald 1989, bls. 9-18). Framsetning hans (sjá Gillispie 1997) er óskýr og ekki leiddu ljósbrotsrannsóknirnar hann til nýrra uppgötvana (American Mineralogist 1918, bls. 117). Í steindafræðibókinni kveðst Hauy (1801) vera búinn að finna alls 20 steindir er sýni tvöfalt ljósbrot (tilv. af Brewster 1823; sjá líka Hauy 1793). Umfjöllun um kristalla og ljósbrot silfurbergs er einnig í eðlisfræðikennslubók hans (Hauy 1803) sem margir hafa eflaust lesið á næstu árum.

Hauy lenti í hremmingum á óróleikatímunum eftir stjórnarbyltinguna frönsku eins og fleiri, en síðan fóru stjórnvöld að gera vel við vísindamenn og náðu Frakkar miklum árangri á mörgum sviðum raunvísinda. Hauy veittist margvíslegur heiður sem lesa má um í ævisögum, sjá t.d. Cuvier (1829; American Mineralogist 1918), og hann er oft nefndur „faðir kristallafræðinnar“. Safn hans af steindum var geysistört.

„Mit seinen Studien an Kalkspat begründete Hauy die rechnende Kristallographie“ segir Hintze (1930, bls. 2897). Ein helsta uppgötvun Hauys (1799, 1801) er kennd við „heiltöluhlutföll“ (á ensku: The law of rational proportions). Í því segir að segir að kristalfletir séu ýmist sléttir (klofningsfletir) eða með örsmáum tröppum: tröppurnar séu myndaðar úr kubbum sem sé raðað á reglulegan hátt, t.d. ein trappa upp fyrir eitt skref áfram (eins og í teningnum á *Mynd 5-1*), eða ein trappa fyrir tvö skref o.s.frv. Önnur útfærsla þessa lögmáls (Zonengesetz) var sett fram af C.S. Weiss (1804).

Ég hefi fundið grein um silfurbergið á þýsku (Silberschlag 1787) þar sem það er nefnt Isländischer Crystall (*Mynd 4-1*) og Isländischer Spath. Höfundur hefur greinilega sjálfur haft undir höndum kristalla af því til að gera tilraunir á, og telur m.a. að tvöfalda ljósbrotið sé ekki speglunar-fyrirbrigði.

5.3 Meira um kristallafræði: Hauy o.fl. 1805-22

Hauy byrjaði snemma að rannsaka rafmögnun kristalla og fleiri efna við núning, þrýsting og upphitun (Hauy 1785). Síðar fann hann að íslenska silfurbergið (sem T. Bergman o.fl. höfðu þegar rannsakað að því leyti) rafmagnaðist meira og lengur af völdum núnings og samþjöppunar en flest önnur efni (Hauy 1817). Er væntanlega sagt nánar frá því í 2. útgáfu steindafræði hans 1822 en ég hef ekki náð til hennar. Ungur vísindamaður, A.C. Becquerel, fékk áhuga á að kanna þessa eiginleika, m.a. í silfurbergi (sjá Biot 1823; Becquerel 1828; Dictionary of Scientific Biography 1980-90). Gerði hann merkar uppgötvunar á því sviði, en ýmis efni s.s. kvars reyndust hafa athyglisverðari rafeiginleika en silfurbergið. Sjá einnig í kafla 9.2.

J.J. Bernhardi (1807) skrifaði grein um tvöfalt ljósbrot í ýmsum efnum, þar sem hann gagnrýnir ýmislegt í ritum Hauys. Hann segir íslenska silfurbergið vel þekkt og mjög heppilegt til rannsókna á ljósbroti, en fáanlegir kristallar annarra steinda með tvöföldu ljósbroti séu iðulega ýmist of litlir, óreglulegir, eða ógegnisæir til þess. Hann leggur áherslu á hlutverk samhverfustefnu sem hann nefnir „Lichtaxe“ (og aðrir síðar „Hauptaxe“ eða „optical axis“); ég mun kalla hana ljósás. Bernhardi (1808) skipti fyrstur kristöllum í sex kerfi eftir



Mynd 5-2. Fjórir af fyrstu og merkustu vísindamönnum sem fjölluðu um silfurberg og skautað ljós. Að ofan t.v.: R. Bartholin (1625-1698). T.h.: Chr. Huyghens (1629-1695). Að neðan t.v.: R.J. Haüy (1743-1822). T.h.: E.L. Malus (1775-1812). Myndin af Bartholin er tekin úr útgáfu bókasafns Hafnarháskóla 1991 á silfurbergs-ritgerð hans, en hinar ásamt fleirum í þessu riti eru fengnar í mannamynda-söfnum á Netinu.

rúmfræðilegum eiginleikum, og Weiss (1815) í sjö. Þessi kerfi eru að mestu eins og þau sem enn eru notuð og nefnast systems á ensku, og var hverju þeirra síðar skipt í 2 til 7 flokka (symmetry classes eða point groups, alls 32). Eitt var kallað kubiska eða reglulega kerfið, og Bernhardi bendir á, að þær steindir sem hann þekki í því kerfi, hafi hvorki tvöfalt ljósbrot (eins og Dufay vissi raunar fyrir 1739) né sérstakan ljósás. Weiss (1811), Cauchy (1813) og Hauy (1815) áttuðu sig einnig á því, að mismunandi rúmfræðileg samhverfa (symmetrie) væri mikilvægur þáttur í eiginleikum kristalla. Seeber (1824) lagði að auki áherslu á að endurtekning (periodicity) væri þar ekki ómerkari þáttur. Tók hann byggingu kalkspatkristalla sérstaklega fyrir í grein sinni sem var síðar talin til stórafanga í þróun hugmynda um rúmfræði kristalgrinda (sjá Lima-de-Faria 1990, bls. 47).

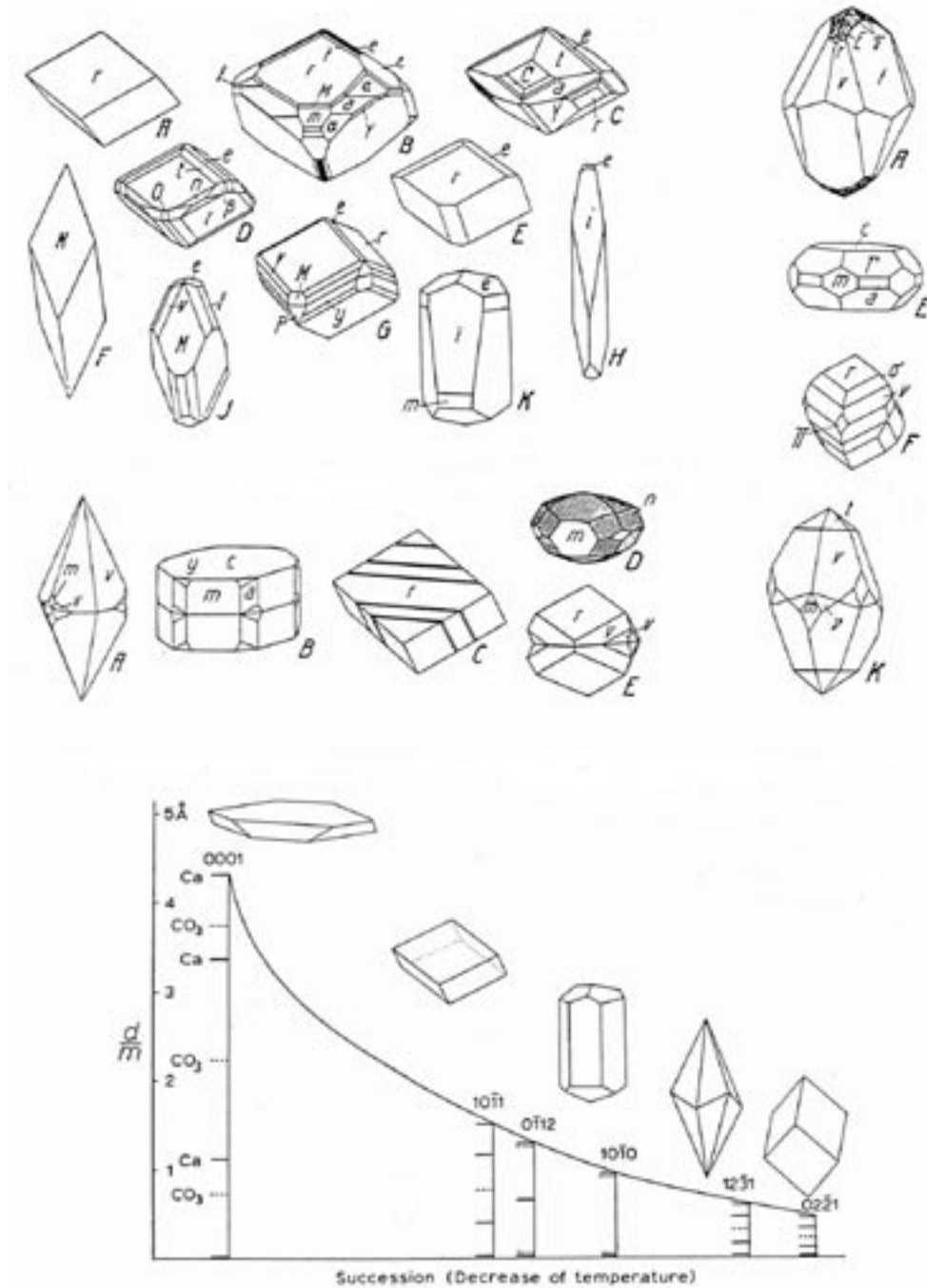
Hauy hafði lýst því sjónarmiði skorinort í bók sinni 1801, að „...chacune des espèces est distinguée de toutes les autres par une forme de molécule integrante qui lui appartient exclusivement“, þ.e., að hvert frumefni eða efnasamband ætti sér aðeins eitt grundvallar-kristalform, og öfugt ef reglulegir margflötungar væru frátaldir. En þarna brást honum bogalístin, og kom íslenska silfurbergið þar mjög við sögu.

Um fyrra atriðið fundu efnafræðingar (t.d. Fourcroy og Vauquelin 1804) það stuttu eftir yfirlýsingu Hauys, að hin algenga steind aragonit hafði sömu samsetningu og hreint kalkspat, nefnilega CaCO_3 . Þó kristallast þessar steindir á mjög mismunandi hátt og hafa mismunandi hegðun hvað varðar ljósbrot og fleiri eðliseiginleika. Þetta olli verulegum heilabrotum fram undir 1820 (sjá ítarlegt yfirlit í Arzruni 1893, bls. 22-36) og hölluðust sumir að því (t.d. Stromeyer 1813, 1814) að mismuninum gæti valdið strontium- eða vatns-innihald í aragonitinu, en sú skýring stóðst ekki (Thenard og Biot 1807, sjá Rose 1864, og Gay-Lussac 1816).

5.4 Tvímynda efni, 1823-40 og síðar

E. Mitscherlich (1823, sjá Rose 1864) sýndi síðan fram á, að fleiri efni en kalsiumkarbonat gætu kristallast á tvo vegu, jafnvel hrein frumefni eins og brennisteinn. Þá varð að finna upp nafn á fyrirbrigðinu, og var því sagt að þau væru „tvímynda“ (dimorph) efni. Kalsiumkarbonat finnst raunar einnig í afbrigði sem nefnt er vaterit en er sjaldséð. Mitscherlich (1831) benti á að aragonitið væri óstöðugt við upphitun og breyttist í kalkspat; síðari rannsóknir staðfestu það.

Margskonar tilraunir voru gerðar á tvímynda efnum, til að finna út hvernig á þessari hegðun gæti staðið. Komust menn að því eftir nokkur ár varðandi CaCO_3 , að hitastig, þrýstingur CO_2 og aðrar aðstæður við kristöllumunina réðu því hvort kalkspat eða aragonit yrði til, sjá t.d. Rose (1837) og Credner (1870). Einnig ráða þessar aðstæður miklu um það á hvernig formi kalkspatið sjálft kristallast úr vatnslausn (Kostov 1968, *Mynd* 5-3; Kostov og Kostov 1999); voru gerðar frekari tilraunir með þetta. Hintze (1930, bls. 2819) vitnar til rannsókna sem bendi til að kalkspatið þurfi að vera mjög hreint til að íslenska gerðin (Spaltungsrhomboeder) myndist. Mikið var spáð í áhrif annarra efna í lausninni (Lösungsgenossen) á kristöllumunarkerfið, t.d. af Credner (1870) og Vater (1893, 1899); sá síðarnefndi notaði uppleyst íslenskt silfurberg í tilraunir sínar. Við mælingar á 20. öld kom í ljós að fyrir karbonöt af tvígildum málmum stjórnað það af stærð málmjónarinnar í hlutfalli við stærð CO_3 -jónarinnar, í hvaða kristallakerfi efnið lendir: þegar sú fyrrnefnda er lítil, hefur kristallinn sömu byggingu og kalkspat, en ef hún er stór, kristallast karbonatið eins og aragonit. Stærð kalsiumjónarinnar er einmitt þarna á mörkunum, og segir Kostov (1968) það atriði einnig vera undirrót þess hve kristalform kalkspats eru fjölbreytt.



Mynd 5-3. Nokkrar gerðir kalkspat-kristalla. T.v. ofantil: Ýmis dæmi um það sem kristallafræðingar kalla rhombohedrisk form, Irby (1878) taldi 50 þeirra vera staðfest í kalkspatsýnum. A er skáteningur eftir grundvallar-klofningsflötum (“fundamental rhombohedron”). Skv. Tschermak (1894) o.fl. kom það form fyrir á Helgustöðum, en var líklega sjaldséð annarsstaðar frá fyrr en eftir 1900. G er sýni frá Íslandi. T.h.: Dæmi um það sem kallað er skalenohedrisk form, frá Bandaríkjunum og Evrópu. Irby (1878) taldi 155 slík form vera þekkt. T.v. neðantil: Ýmiskonar tvíburakristallar. Tvíbura-þynnur eins og í C er hægt að framkalla með þrýstingi, sjá kafla 21.3. Myndirnar eru úr P. Niggli: Lehrbuch der Mineralogie, 2. útg., Band II, 1926. Neðri hluti: Hugmynd Kostovs (1968) um það hvernig mismunandi kristalform kalkspats endurspeglar minnkandi myndunar-hitastig. 1011 er grundvallar-skáteneingsformið, 1231 er skalenoeder. Stærðin á lóðrétta ásnum er tengd fjarlægðum milli plana í kristöllum (grating space) sem koma við sögu í þessum formum.

5.5 Einsmynda efni, um 1820 og síðar

Hin hliðin á staðhæfingu Hauys (1801) um einkvæma samsvörun efnasamsetningar og byggingar kristalla var heldur ekki óumdeilanleg. Kom þar kalkspatið enn við sögu, því að lögun grunn-strendings málmkarbonatsteindanna (Ca,MgCO_3 (dolomit), MgCO_3 (magnesit), MnCO_3 (manganspat), FeCO_3 (járnspar, siderit), ZnCO_3 (zinkspat) o.fl. er næstum sú sama og í kalkspati. Virtust í byrjun kristalla-hornin vera alveg eins, en Wollaston (1812) bjargaði þó málum fyrir Hauy með nákvæmum mælingum sem sýndu að hvassa horn silfurbergs-strendings væri $74^\circ55'$, dolomits $73^\circ45'$ og magnesits $73^\circ0'$ (sjá Partington 1952, bls. 114).

Mitscherlich (1818-19, sjá Rose 1864) benti á, að í ýmsum skyldum og jafnvel óskyldum efnum væri afar lítill munur á hornum kristallanna og ýmsum öðrum eiginleikum þeirra, og voru tiltekin fosföt og arsenöt fyrsta dæmi hans um þá hegðun. Hún verðskuldaði sérstakt nafn, og er sagt að slíkir hópar efna séu einsmynda, „isomorph“.

Hin svipaða lögun málmkarbonat-kristallanna gaf tilefni til margskonar samanburðar-rannsókna á þessum efnum og leitar að venslum milli hinna ýmsu eiginleika þeirra, í meira en öld. Þannig fann Neumann (1831) að eðlisvarmi þeirra var í öfugu hlutfalli við mólmassann, og reyndist það vera angi af almennara lögmáli. Sjá nánar um ýmsar mælingar á þessum og öðrum einsmynda kristöllum t.d. í bókum eftir Arzruni (1893), Tutton (1922, IV. hluta), Linck (1923, IV. kafla) og Groth (1926); um tengdar rannsóknir með röntgengeislum verður fjallað í 36. kafla. Auk fyrrnefndra málmkarbonata er svonefndur Chilesaltpétur, NaNO_3 , einsmynda við silfurberg. M.a. gerði því Frankenheim (1836) fróðlegar athuganir á saltpéturskristöllum sem látnir voru vaxa úr vatnslausn á kalkspatfleti, og reyndist kalkspatið stýra vextinum við viss skilyrði. Tschermak (1881) gerir ítarlegan samanburð á ýmsum eiginleikum saltpéturs, kalkspats og hinna einsmynda karbonatanna sem nefnd voru. Fjallað verður nokkuð um saltpéturinn síðar, til dæmis í kafla 33.3.



6 Mikið framfaraskið í ljósfræði 1800-15

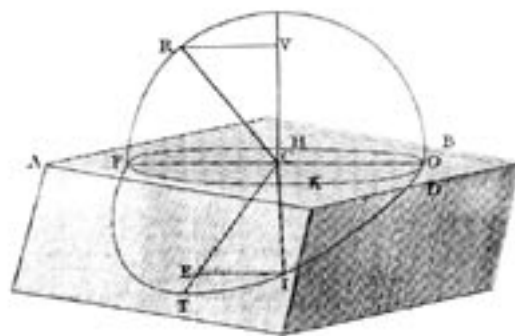
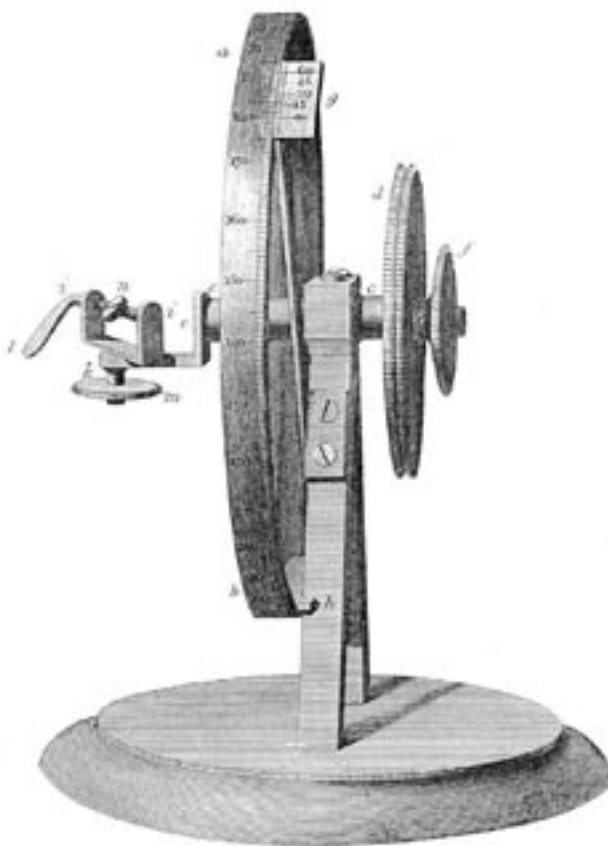
6.1 Bretland – atburðir í ljósfræði o.fl. 1800-10

Kringum aldamótin 1800 voru gerðar mikilvægar uppgötvanir á sviðum sem hér skipta máli, í Englandi. T. Young (1802) hafði m.a. gert athuganir á hegðun ljóss við að endurkastast frá fleti sem á voru örmjóar rifur hlið við hlið. Taldi hann einsýnt af niðurstöðunum, að ljósið hlyti að vera bylgjuhreyfing í þunnu ljósvakaefni svipuðu því sem Newton hafði ritað um. Vitnaði Young einnig m.a. til rannsókna Huyghens á silfurbergi, en gaf lítið fyrir agnakenninguna. Þá kom til sögunnar H. Brougham, höfundur tveggja vísindagreina um ljósfræði (Brougham 1796,1797). Í síðari greininni hafði hann endurtekið ýmsar tilraunir Martins (1774) á íslenskum kristöllum, en treysti á hugmyndir Newtons um ljósagnir. Brougham (1803a,b) birti skammagreinar um rannsóknir Youngs og munu þær hafa tafið enn um sinn framgang bylgjukenningarinnar. Ekki virðast rök Broughams í þeim sterk nú, og ritverk hans um hin aðskiljanlegustu málefni höfðu raunar öll „but little permanent value“ samkvæmt Chambers's Biographical Dictionary frá 1938.

Í fyrrnefndri grein um bylgjueðli ljóssins benti Young (1802) á nýlegar tilraunaniðurstöður W. Herschels sem gæfu til kynna að varmageislun frá sólinni væri að mörgu leyti sama fyrirbrigði og ljós. Young hafði þá áttað sig á, að af sýnilegri geislun hefði sú rauðasta um 60% lengri bylgjulengd en sú fjólubláasta, og taldi hann varmageislun hafa lengri bylgjulengd en rautt ljós. Vísbendingar um að litrófið næði út fyrir fjólublátt hinumegin, fundust hinsvegar fyrst á meginlandinu, af J.W. Ritter (1803).

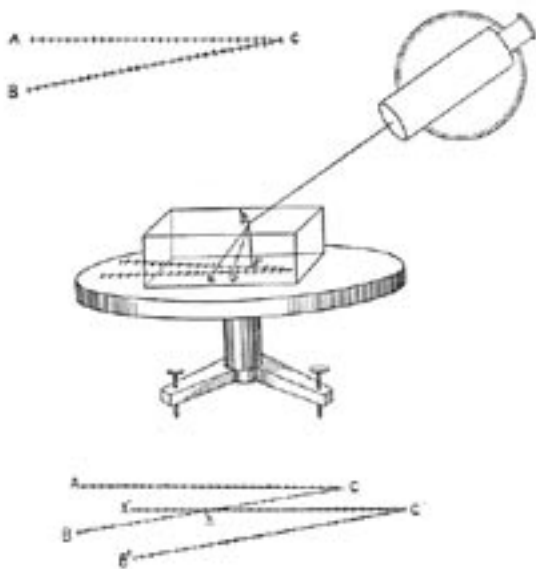
Wollaston (1802a) útbjóst nýtt tæki til að gera nákvæmar mælingar á brotstuðlum fastra efna og vökva fyrir mismunandi liti. Hann gerði einnig (1802b, sjá *Mynd 6-1*) sérstakar mælingar á ljósbroti „óvenjulega“ geislans í íslensku silfurbergi við nokkur mismunandi innfallshorn. Mælingunum bar saman við útreikninga Hauys út frá tilgátu Huyghens (1690), a.m.k. í öðrum aukastaf. Mátti telja það verulegan stuðning við bylgjukenninguna um ljósið. Í umsögn gat Brougham (1803b) ekki á sér setið að hnýta í þá „untenable and useless hypothesis“ þótt hann hinsvegar teldi mælitækni Wollastons til fyrirmyndar.

Wollaston (1809) lýsti síðar nýjum búnaði til þess að mæla horn milli kristalflata, á ensku „reflection goniometer“ (*Mynd 6-1* að ofan). Í tæki Wollastons var kristallinum stillt upp í miðju hringlaga palls sem mátti snúa, og láréttur ljósgeisli látinn speglast frá hliðum kristallsins hverri eftir aðra. Tækið tók mælitæki Carangeots fram að nákvæmni og að því leyti að hægt var að



Sur une propriété de la lumière réfléchie

PAR M. MALUS.



Lorsqu'un rayon solaire est réfléchi ou réfracté, il conserve en général ses propriétés physiques; et, soumis à de nouvelles épreuves, il se comporte comme s'il émanait directement du corps lumineux: le prisme, en dispersant les rayons colorés, ne fait que changer leur direction respective, sans altérer leur nature. Il y a cependant des circonstances où l'influence de certains corps imprime aux rayons qu'ils réfléchissent, ou qu'ils réfractent, des caractères et des propriétés qu'ils transportent avec eux, et qui les distinguent essentiellement de la lumière directe.

La propriété de la lumière que je vais décrire est une modification de ce genre. Elle avoit déjà été aperçue dans une circonstance particulière de la duplication des images, offerte par le spath calcaire; mais le phénomène qui en résultoit étant attribué aux propriétés de ce cristal,

Mynd 6-1. Að ofan t.v.: Speglnar-hornamælir Wollastons (1809) fyrir kristalla. T.h.: Teikning Wollastons (1802b) af bylgjuútbreiðslu í silfurbergi. Að neðan t.v.: Teikning (úr Wood 1905) af aðferð Malus til að mæla nákvæmlega ljósbrot í náttúrulegum og tilskornum strendingum silfurbergs 1808. Neðsti hluti myndarinnar sýnir það sem sást í kikinum. T.h.: Upphaf greinar Malus (1809) um tímamóta-uppgötvun hans varðandi skautun speglaðs ljóss. Þarna er nefnt “spath calcaire” en síðar í greininni “spath d’Islande”.

mæla litla og brotna kristalla. Fyrsta efnið sem Wollaston mældi, var íslenskt silfurberg. Sýndi hann fram á með mælingunum, að hornið milli samhverfuáss kristallsins og hveðrar hliðar var frábrugðið gildinu 45° sem Huyghens hafði reiknað með. Þessi tækni hefur verið notuð síðan. Nákvæmni tækisins jókst þegar bætt var við það kík með þráðkrossi (af Malus, líklega 1809-10) og síðar ljósbeini (collimator), sjá Ann. Phys. 2, 83-89, 1824.

Wollaston lýsti einnig fyrstur (í grein um frumefnið palladium 1804) tvíbrjótandi steindum þeirrar náttúru, að annar geislinn var gleyptur (absorbed) á leið sinni gegnum þær. Þessi efni voru nefnd „dichroic“. Er turmalin þeirra þekktast, og eiginleikum þess var lýst nánar af T.J. Seebeck (1813), Biot (1814 skv. Bertin 1879) og Brewster (1820). Þynnur af turmalini komu að talsverðu gagni alla 19. öldina til að rannsaka tvöfalt ljósbrot í efnum, og önnur fyrirbrigði í skautuðu ljósi, en erfitt gat verið að finna góða kristalla að búa þær til úr (sjá Herschel 1820, bls. 97, Groth 1885, bls. 149). Ekki er alltaf ljóst af texta ritsmíða frá fyrstu áratugum 19. aldar, hvaða búnaður var notaður í hverri tilraun á þessum sviðum ljósfræðinnar.

6.2 Raungreinar blómstra í Frakklandi 1800-10

Hjá Frökkum var uppgangur í raunvísindum og verkfræði um og eftir aldamótin 1800, og tengdist hann ekki síst hinna þekktu vísindaakademíu landsins (sem hét Institut de France frá 1795). Er í raun ótrúlegt að kynnast því, hve margar og miklar uppgötvanir voru gerðar þar á fáeinum áratugum, t.d. í stærðfræðigreiningu, á ýmsum sviðum aflfræði, í varmafræði, rafsegulfræði, eiginleikum fastra og fljótandi efna, landmælingu, hönnun mannvirkja o.fl. (t.d. Grattan-Guinness 1990, Timoshenko 1953). Að meðtalinni þeirri þróun ljósfræðinnar, sem hér verður komið inn á, má segja að á árunum 1795-1825 hafi eðlisfræði mjög fest sig í sessi í Frakklandi sem sjálfstætt vísindasvið. Silliman (1975) og Buchwald (1989, bls. 9) benda þar sérstaklega á vaxandi skilning manna á nauðsyn vandaðra tilrauna og nákvæmra mælinga. Enn ótrúlegri er þessi uppgangur raungreinanna í Frakklandi á þessum áratugum, þegar haft er í huga að sumir vísindamenn þeir sem hlut áttu að máli, urðu illa úti í ófriðar- og upplausnarástandi þessara áratuga, og aðrir voru tæpir að heilsu.

Margir hinna fremstu raunvísindamanna landsins ýmist kennarar eða nemendur verkfræðiskólans École Polytechnique sem stofnaður var 1794. Þess má geta að einn stofnenda þess skóla, G. Monge (1789?), ritaði grein sem nefnir silfurberg og tvöfalt ljósbrot, en þekktastur var hann fyrir rannsóknir sínar í stærðfræði. Auk Hauys sem fyrr var nefndur, skrifuðu fleiri um ljósfræði í frönsk og þýsk rit seint á 18. öld og þar með um tvöfalt ljósbrot, svo sem C. Buffon (1786, sjá aftast í kafla 4.1 og í Buchwald 1989), -. Jordan, og -. Link (1797) en ekki hef ég náð í rit þeirra síðarnefndu.

6.3 Fréttir af Wollaston berast til Frakklands: afleiðingar

Samgöngur voru stopular milli Bretlands og Frakklands á tímum Napóleonsstyrjaldanna (til 1815), og hafa sumir sagnfræðingar talið að franskir vísindamenn hafi ekki frétt af rannsóknum Wollastons (1802b) á ljósbroti silfurbergs fyrr en á árinu 1807 (sjá Gillispie 1997, bls. 211-212, og kafla um Laplace greifa í Dictionary of Scientific Biography 1980-90). Buchwald (1980) segir hinsvegar báðar greinar Wollastons frá 1802 hafa birst á frönsku 1803. Á árunum 1805-06 voru Laplace, J.B. Biot og F. Arago að rannsaka atriði tengd ljósbroti og telur Buchwald að Laplace hafi viljað láta reyna á það hvort agnakenning Newtons um ljósið gæti útskýrt tvöfalda

Ljósbrotið í silfurbergi. Laplace var fullviss um réttmæti agnakenningarinnar og nýtti hana sjálfur til skýringar á niðurstöðum tilrauna. Hann var mjög áhrifamikill í frönskum raunvísindum, enda hafði hann verið einn fremsti afreksmaður þjóðarinnar í þeim fræðum í áratugi og skrifað margt um stærðfræði, stjarnvísindi og kennilega eðlisfræði. Ákvað franska akademian um áramótin 1807-08 að efna til verðlaunasamkeppni um stærðfræðilega kenningu um tvöfalt ljósbrot, ásamt prófun hennar með tilraunum. Skila átti framlögum í keppnina fyrir árslok 1809.

6.4 Um hlutverk silfurbergs um 1800, og tveggja geisla prismu 1777-1820

Silfurbergskristallar hafa væntanlega verið notaðir við að kanna hið tvöfalda ljósbrot í öðrum efnum, vegna þess hve þeir voru stórir, tærir og reglulegir sem fyrr sagði, en einnig vegna þess að munur brotstuðlanna er óvenjulega mikill. Þá hefur verið horft á þá geisla sem komu í gegnum efnin, og athugað hvernig styrkur þeirra breyttist við að silfurberginu var snúið. Þess er þó að gæta, að geislarnir tveir sem koma beint gegnum silfurbergskristallinn, eru samsíða (*Mynd 7-5A*) og ekki langt frá hvor öðrum (rúmlega 2 mm ef kristallinn er 2 cm að þykkt).

Menn áttuðu sig á því, að það væri til bóta ef aðeins annar geislinn færi í gegn án stefnubreytingar (fyrir alla liti), en hinum væri beint út til hliðar (*Mynd 12-1* efst). Þetta var m.a. hægt að gera með prisma, sem kennt er við A. Rochon (1777, sjá einnig Torelli de Narci 1803 og tilvitnanir t.d. í Partington 1953). Fyrsta gerð prisma Rochons var samsett úr tveim fleygum úr kvarsi og gleri: nýta má tvöfalda ljósbrotið í kvarsinu á einfaldan hátt til að mæla mjög lítil sjónarhorn. Bates o.fl. (1942, bls. 33) vitna til rits eftir Rochon um mælingu hans á þvermáli sólar með silfurbergsprisma. Rochon (1811, 1812, þýsk þýðing greinar frá 1801) gerði tillögu um að setja þess konar silfurbergs- eða kvarsprisma inn í kík sem handhægan fjarlægðarmæli t.d. í sjöhernaði. Var það einfaldara í notkun en glerprismu sem L. Euler hafði lýst 1783. Sjá meira í kafla 12.1.

6.5 Uppgötvun Malus 1808 – stórt framfarastökk í ljósfræði

Ungur verkfræðingur, E.L. Malus (*Mynd 5-2*), sem hafði gert ýmsar rannsóknir í ljósfræði (sjá Malus 1807a,b), ákvað að taka þátt í samkeppni frönsku akademiunnar sem nefnd var að ofan. Hann útbjóg sér miklu nákvæmari tæki til mælinga á ljósbroti í náttúrulegum og skornum silfurbergskristöllum en fyrri rannsakendur höfðu gert. Tækið notaði hornamæli sem J.-C. de Borda hafði fundið upp, og tvo kvarða rispaða á málmplötu með horninu $\arctan(0,1)$ á milli (*Mynd 6-1*). Nánari lýsing á aðferðum Malus er í Buchwald (1989, bls. 31-36), og nefnt þar að þær voru mjög til fyrirmyndar. Í fyrsta lagi komst hann framhjá tilteknum endurkastsvandamálum sem höfðu ruglað Wollaston; í öðru lagi var öll framkvæmd mælinganna, t.d. hvað varðaði uppsetningu niðurstaðna og áætlun óvissu, mun betri en áður hafði sést; í þriðja lagi var úrvinnsla mælinganna og samanburður við kenningu Huyghens um ellipsoíðu-lögun yfirborðs óvenjulega geislans gert með útreikningum (algebru, segir Buchwald; analytiskri geometri, segir Gillispie) sem var flóknara en mun nákvæmara en þær aðferðir sem fyrr var beitt og byggðust á geometriskum teikningum.

Malus staðfesti tilgátu Huyghens með 1% nákvæmni, en mun ekki hafa tekið sjálfur afstöðu með bylgjukenningunni (sjá Born og Wolf 1999, bls. xxvii, o.fl.) fremur en Wollaston (sjá t.d. Gillispie 1997, bls. 212). Hann fann einnig (Malus 1809) að ýmis kristölluð efni eins og

blýsúlfat, kvars og brennisteinn hafa samskonar áhrif á ljósið eins og silfurberg, en mælingar hans á þeim voru mun umfangsminni.

Næsta stóra framfarastökk vísindanna átti síðan upphaf sitt í tilviljunarkenndum atburði í rannsóknum Malus. Hann var (samkvæmt ævisögu hans, ritaðri af F. Arago) að skoða kristall, væntanlega af íslensku silfurbergi, í vistarverum sínum við Rue d'Enfer nærri Luxembourg-höllinni í Parísarborg kvöld eitt síðla árs 1808. Meðal annars leit hann gegnum kristallinn á endurkast sólarljóssins frá einum glugga hallarinnar. Hann bjóst við að sjá tvo jafnsterka glampa hlið við hlið, en tók þess í stað eftir því að styrkur þeirra breyttist innbyrðis þegar kristallinum var snúið. Strax prófaði Malus að láta ljós endurkastast frá öðrum flötum, og sá gegnum silfurbergið tvö endurköst sem voru missterk eftir því hvert innfallshornið var og hvernig silfurbergið sneri. Eflaust höfðu margir horft á endurkastað ljós gegnum silfurberg á undan honum, en hann var sá sem áttaði sig á mikilvægi þessa máls. Uppgötvun Malus (1808, *Mynd 6-1*) má orða þannig almennt: *Hegðun ljósgeisla (frá sólinni eða öðrum ljósgjöfum) í silfurbergi og öðrum kristöllum stafar ekki bara af því að þeir breyti ljósinu á einhvern einstæðan hátt, heldur hafa ferðalag ljóssins gegnum kristallana, og endurkast þess frá flötum efna, samskonar áhrif á grundvallarþátt sem er til staðar í ljósinu.*

Malus gerði frekari tilraunir á ljósbroti í silfurbergi. Hann taldi að ljós gæti haft mismunandi „skautun“ (polarisation) og að við endurkast þess eða ferð gegnum silfurberg, *aðgreindist* ljósið eftir skautunarástandi sínu. Vísar nafngiftin væntanlega til hugmynda Newtons um að ljósagnirnar hefðu tvennskonar hliðar eða skaut. Malus kynnti akademiunni niðurstöður sínar, og þóttu þær svo merkar að rétt væri að birta þær hið fyrsta, þ.e. löngu áður en skilafrestur var útrunninn. Önnur ritgerð (Kramp 1811) barst í samkeppnina og fékk viðurkenningu; Kramp fjallaði þar mest um kristallafræði silfurbergs en komst ekki að eins merkum niðurstöðum og Malus.

6.6 Birting niðurstaðna Malus, um 1810

Til dæmis segir Daumas (1987, bls. 81) um niðurstöður Malus: „Une nouvelle branche de l'optique était née ...“. Það var vissulega rétt að þarna hafi ný grein ljósfræðinnar fæðst, því að nýr eiginleiki ljóss bættist við þá sem áður var hægt að gera rannsóknir á eða með, svo sem stefnu ljósgeisla (miðað við efnisflöt), styrk hans og lit. Þessi eiginleiki hefur síðan reynst geysilega öflugt tæki til allskonar rannsókna á ljósbylgjum og víxlverkun þeirra og einda efnisins.

Fyrirnefndur Laplace tók sig til í snatri og lýsti helstu niðurstöðum úr rannsóknum Malus og túlkaði þær (Laplace 1808a,b, 1809a,b), raunar áður en Malus sjálfur birti greinar sínar um þær (Malus 1808a,b, 1809, 1810a,b o.fl.). Verðlaunarritgerð Malus (1811) er aukin samantekt á nokkrum fyrri greinum hans um tvöfalt ljósbrot og skautun. Malus lést í febrúar 1812.

Laplace taldi, að agna-kenningin gæti skýrt ljósbrot óvenjulega geislans í kristalli eins og silfurbergi, ef gert væri ráð fyrir að kraftar frá kristalgrindinni á agnirnar breyttust á tiltekinn hátt eftir stefnu agnageislans miðað við ljósásinn. Beitti hann þar reglunni um lágmarks verkun (principle of least action) sem P.-L. Maupertuis hafði sett fram 1744.

Young (1809, 1810) tók undir það að rannsóknir Malus á ljósbroti í silfurbergi og skautun ljóss væru „the most important and interesting that has been made in France, concerning the properties of light, at least since the time of Huygens“. Hinsvegar gagnrýndi hann viðleitni Laplaces til að halda agnakenningunni við lýði, og taldi hana óþarfa. Young benti á þá mikilvægu staðreynd, að fjaðurstuðlar og hljóðbylgjuhraði í sumum efnum (t.d. víði, eða

þynnum úr mismunandi efnum límdum saman) geti verið háð stefnu. Mætti ef til vill skýra útbreiðslu óvenjulegu bylgjunnar í kristöllum á svipaðan hátt.

Young og aðrir stuðningsmenn bylgjukenningarinnar áttu þó næsta áratuginn enga skýringu á skautunar-fyrirbrigðinu, enda töldu þeir hreyfingu ljósvakans í ljósbylgjunum vera langsum. Jafnframt ber að hafa í huga, að þeir gátu heldur ekki skýrt ljósvístur (dispersion) í efnum, og þaðan af síður efnafræðileg áhrif ljóss (eins og t.d. þá dökkun silfur-halíða, sem síðar varð grundvöllur ljósmyndatækninnar).

6.7 Víðtæk áhrif af uppgötvun Malus eftir 1810; litir í þynnum o.fl.

Næstu árin og áratuginna kepptust vísindamenn í Evrópu við að rannsaka hinn nýfundna þátt í eðli ljóssins, og rak hver stóruppgötvunin aðra. Margar bækur hafa verið skrifaðar um þetta tímabil og ævi þeirra einstaklinga sem þar komu mest við sögu. Segir t.d. í bók Daumas (1987, bls. 86), að „Les phénomènes de polarisation formaient le centre des préoccupations des physiciens. Malus avait mis l'optique à la mode“. Voru Frakkar þar fjölmennastir og líklega fremstir a.m.k. til 1826. Við þær rannsóknir voru silfurbergskristallar ómissandi. Í þessum kafla og þeim næsta verður einkum lýst skrifum eftir F. Arago og J.B. Biot (*Mynd 7-1*) um skautun ljóss, en af öðrum sem rannsökuðu það málefni upp úr 1810 má nefna A.M. Ampère (1813-15) og J.E. Bérard, sjá kafla 10.5.

Arago (1811) lét af tilviljun ljósið frá himninum (sem er skautað, sjá síðar) falla fyrst gegnum þynnu af mariugleri (glimmer) og skoðaði hana gegnum silfurbergskristall. Þá komu fram fallegir litir í henni, svipaðir þeim sem sjást t.d. í olíubrák í venjulegu ljósi. Tæki til að skoða skautunarástand ljóss hétu í byrjun „polariscopes“ og gáfu aðeins ónákvæma vitneskju um þetta ástand. Eitt slíkt sem Arago bjó til fljótlega eftir að hann uppgötvaði þynnu-litina, var kíkir með gifs- eða glimmerþynnu og silfurbergsstrendingi sem mátti snúa. Ef horft var gegnum tækið, sáust tveir ljósblettir með mismunandi litum sem voru háðir skautun ljóssins (Verdet-Exner 1887, kafla 256). Með öðru tæki sem mynd er af í bók hans „Astronomie Populaire“ og í Daumas (1987), tók hann t.d. eftir því 1811 að skautun ljóssins frá höfum tunglsins og öðrum hlutum þess var mismunandi.

Biot (1812, 371 bls.!, og síðar) gerði mjög umfangsmiklar rannsóknir á þynnulita-fyrirbrigðinu, sem kallað var „polarisation chromatique“. Hann setti fram skýringu á því byggða á agnakenningunni um ljósið: lét hann ljósagnirnar (molécules lumineuses) snúast eða sveiflast á tiltekinn rykkjótta hátt inni í efninu. T. Young (1814) kom hinsvegar með réttu skýringuna, út frá bylgjukenningunni: litirnir stöfuðu af bylgjuvíxlum (interference) tveggja bylgna með mismunandi skautun sem höfðu farið mishratt gegnum efnið, og var hraðamunurinn háður bylgjulengd. Kristalþynnu-litirnir voru rannsakaðir m.a. af Mayer (1812, 1815) sem ekki gerði þó nýjar uppgötvanir, og af mörgum næstu áratugi, ekki síst vegna nytsemi þeirra við rannsóknir á steindum í smásjám upp úr 1860. Sjá til dæmis Bertin (1879).

Biot ritaði margar greinar um víxlverkun skautaðs ljóss og efna á yfir 40 ára tímabili, og er „spath d'Islande“ þar oft nefnt. Ein grein hans (Biot 1815b) fjallar sérstaklega um breytingu brotstuðla í íslensku silfurbergi með bylgjulengd ljóssins (ljósvístur, dispersion). Biot (1814) fann einnig, að í kvarsi o.fl. efnum var brotstuðull venjulega geislans (n_o) minni en hins óvenjulega (n_e), öfugt við silfurberg. Hann gerði sér grein fyrir því, að í slíkum efnum yrði ellipsoíðufloitur Huyghens aflangur (prolate), fremur en breiður um miðjuna (oblate) eins og í *Mynd 6-1*. Samkvæmt agnakenningunni mátti þá gera ráð fyrir, að í kvars-hópnum yrðu ljósagnirnar fyrir aðdráttar-hrifum frá ljósásnum (sem Malus kallaði axe de réfraction) en

fráhrindikröftum í silfurbergi og mörgum öðrum efnum. Fyrirnefndu efnin hafa lengst af síðan verið kölluð jákvæð einása efni, en silfurberg og önnur efni með $n_o > n_e$ eru kölluð neikvæð einása efni.

Fóru tilraunir Biots (t.d. 1812, 1818 og síðar) þannig fram að búnaður sem nefndur var „skautari“ (polarizer, hér er notað orðalag Sveins Þórðarsonar 1945) var notað til að framleiða línulega skautað ljós úr óskautuðu, og ljósið var síðan skoðað eftir að það hafði farið gegnum t.d. sýni af efni og þaðan gegnum „greini“ (analyzer). Báðum mátti snúa um ás ljósgeislans, og átti ekkert ljós að komast í gegnum tækið ef ekkert sýni var í því og skautunarstefnur skautara og greinis voru hornréttar hvor á aðra. Biot notaði hallandi glerplötu sem skautara, og aðra glerplötu, silfurbergskristall eða Rochon-prisma úr silfurbergi sem greini (sjá Cheshire 1923 og Mascart 1891, *Mynd 7-5B*, einnig Bates o.fl. 1942; Appelquist 1987). Þessi tegund polariskopa þróaðist svo yfir í algengustu gerð þeirra tækja sem nefndust polarimetrar og nánar er fjallað um í kafla 13.2 og síðar. Ekki hef ég kannað að gagni hverjir komu helst að þeirri þróun á árunum fram til 1840, en hef þó rekist á þýska lýsingu á slíku tæki (Schulze-Montanus 1817).

6.8 Optisk virkni, 1811-15

Annað sem Arago (1811) tók fyrstur eftir og Biot (1812, 1817 o.m.fl.) gerði tilraunir á, var einkennileg verkun þunnra kvars-platna á línulega skautað ljós (til viðbótar við tvöfalda ljósbrotið í kvarsinu). Ef platan hafði verið búin til þannig að ljósás kvarsins yrði hornréttur á plötuna, snerist skautunarplan ljóssins á leiðinni í gegn, í réttu hlutfalli við þykkt viðkomandi plötu. Sumir kristallar af kvars sneru skautunarplaninu til hægri og aðrir sneru því jafnmikið til vinstri. Virtist það tilviljanakennt og varð mönnum ráðgáta næstu áratugi, sjá kafla 16.2 um Pasteur. Snúningurinn er um 21.7° á mm þykktar fyrir gult natriumljós en eykst mjög mikið frá rauðu yfir í fjólublátt. Þennan snúnings-eiginleika sumra efna nefndi Biot „polarisation circulaire“ eða „pouvoir rotatoire“, en á ensku fékk hann síðar nöfnin „rotatory polarization“ og „optical activity“, sem ég mun kalla hér optiska virkni.

Fleiri kristallar með optiska virkni fundust ekki fyrr en um 1855, sjá kafla 18.2. Í kvarsinu áttu ljósagnirnar skv. hugmyndum Biots að snúast kringum ljósásinn á leið sinni, en brátt kom fram óvænt og mikilvægt fyrirbrigði sem sýndi að eindir efnisins sem slíkar gátu valdið henni, ekki bara skipulag þeirra í kristöllum: Biot (1815a, og síðar) tilkynnti, að optiska virknin kæmi einnig fyrir í ýmsum lífrænum vökvum, svo sem olíum úr jurtaríkinu, og sykurlausnum. Nánar um það í kafla 12.4.



FRANÇOIS ARAGO



JEAN-BAPTISTE BIOT



Mynd 7-1. Fjórir merkir vísindamenn sem rannsökuðu silfurberg og skautað ljós. Efri t.v.: F. Arago (1786-1853), t.h.: J.B. Biot (1774-1862). Neðri t.v.: D. Brewster (1781-1868, mynd úr Morrison-Low og Christie 1984), t.h.: A. Fresnel (1788-1827).

7 Enn miklar framfarir, 1816-20

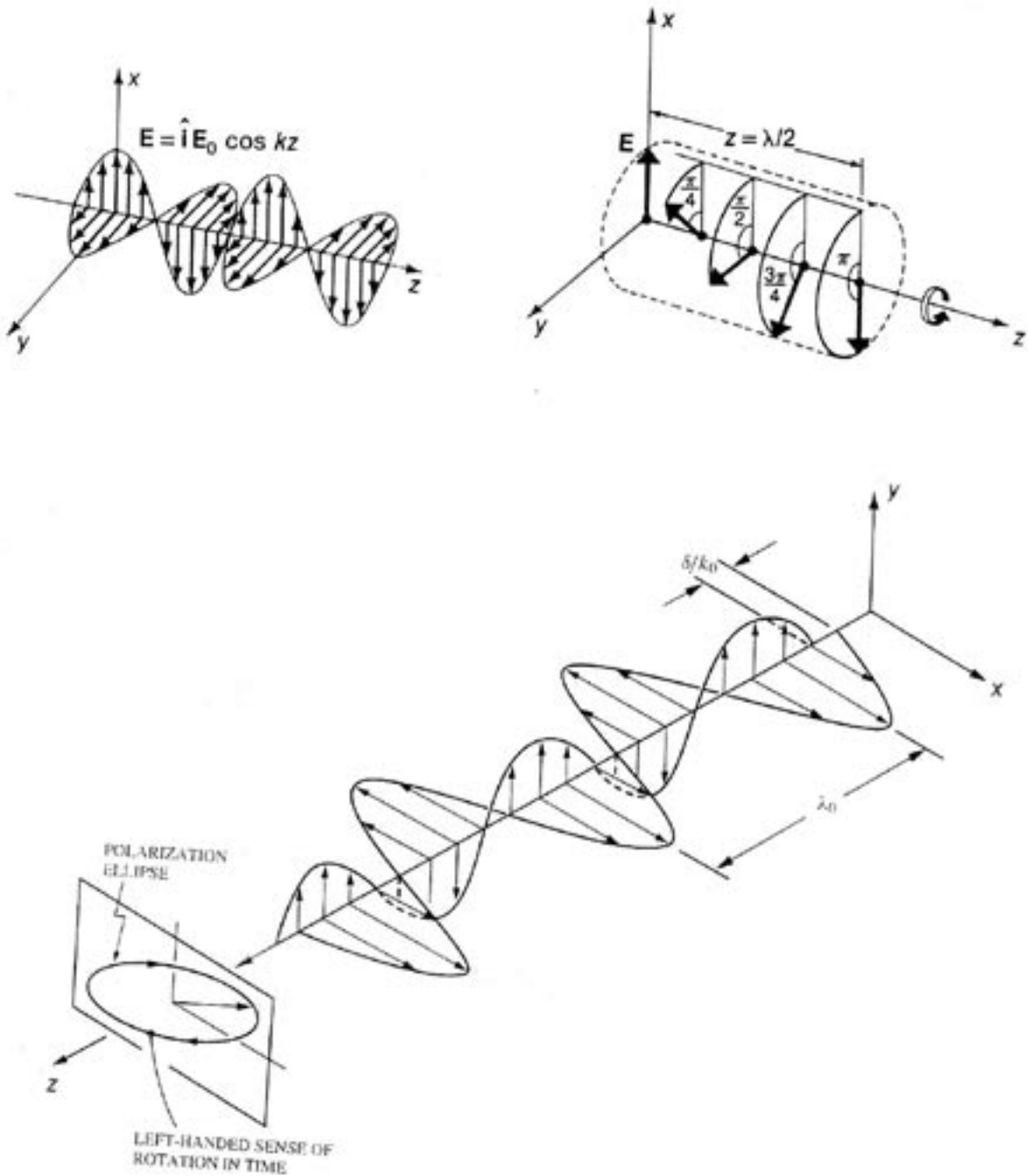
7.1 Bylgjukenningin vinnur á: Fresnel, þverbylgjur, optísk virkni o.fl. frá 1816

Vorið 1817 efndi franska vísindaakademian enn til samkeppni um verkefni á sviði ljósfræði, og átti nú að skýra beygju ljóss kringum hindranir (diffraction). Reiknuðu akademíu-menn með að fá þar fullnaðar-staðfestingu agnakeningarinnar. Samkeppnin varð tilefni fyrstu ritsmíða annars ungs verkfræðings, A. Fresnel (1816 og síðar, sjá einnig Fresnel 1822b). Fresnel (*Mynd 7-1*) hafði lært í École Polytechnique að ljós væri agnastraumur, en sá síðan af eigin athugunum að bylgjukenningin væri réttari, og notaði hana til að skýra ljósbeygjuna vandlega. Verðlaunaritgerð Fresnels um ljósbeygju birtist ekki á prenti fyrr en 1826. Hún og fleiri athuganir höfðu síðan sannfært allfesta vísindamenn um réttmæti bylgjukenningarinnar um ljós fyrir eða um 1830 (Silliman 1975, bls. 157; Buchwald 1989, bls. 291-297).

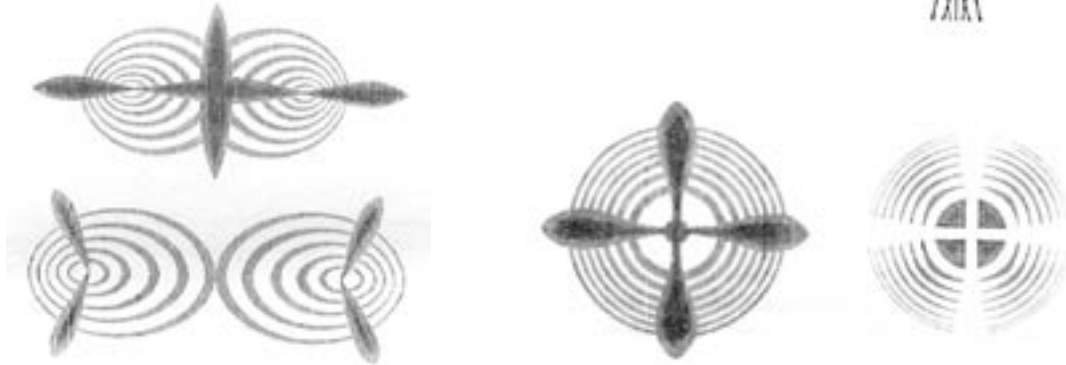
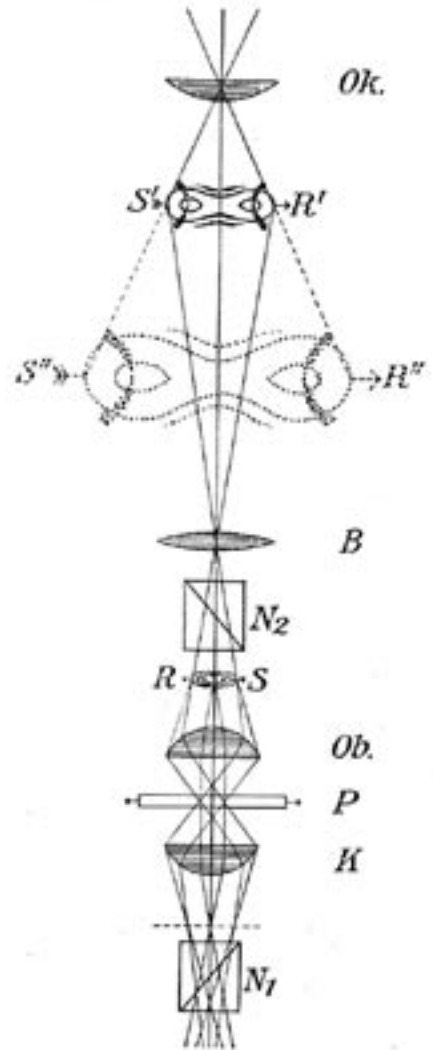
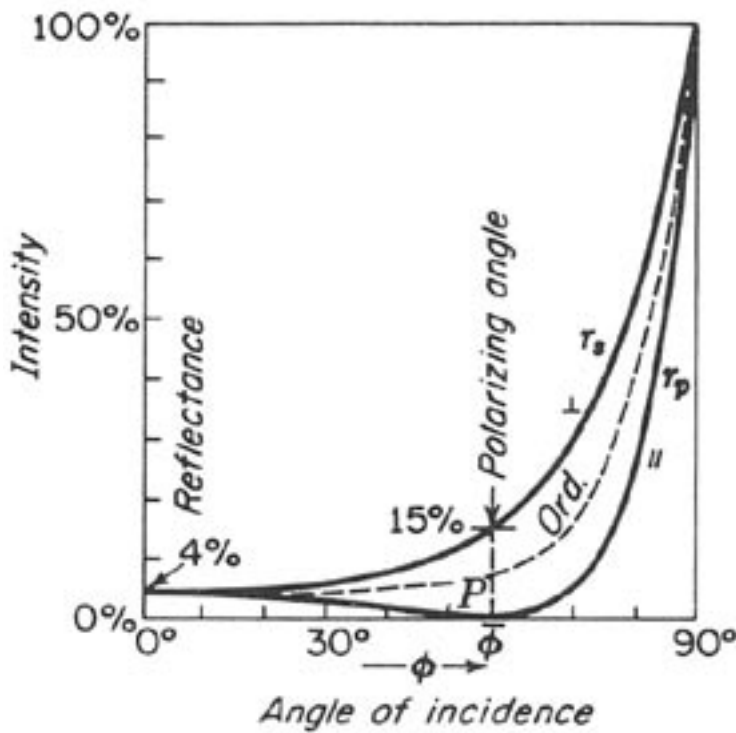
Fresnel lét síðan skammt stórra högga á milli í ljósfræðirannsóknunum. Arago var einnig orðinn sannfærður um að bylgjukenningin tæki agnakeningunni fram, og rannsökuðu þeir Fresnel á árunum 1815-19 bylgjuvíxl (interference) skautaðra ljósgeisla. Meðal annars sýndu þeir með tilraunum, að geislar skautaðir „en sens contraire“ mynduðu ekki bylgjuvíxl-mynstur nema við sérstök skilyrði (Arago og Fresnel 1819; sjá Wild 1856 og Verdet 1869). Silfurberg kom þarna mjög við sögu: til dæmis rifjar síðar Billet (1862) upp „la célèbre expérience des spaths croisés de Fresnel, imaginée par ce grand physicien pour dissiper les objections soulevées contre sa théorie des couleurs des lames cristallines...“. Young frétti af niðurstöðum þeirra, og benti hann Arago á það í bréfum 1817-18, að *hreyfingin í ljósbylgjunni hlyti að vera þversum (transverse) á útbreiðslustefnuna*. Þetta var geysi-mikilvægt atriði fyrir áframhaldandi þróun hugmynda um ljósið, og fljótlega einnig hugmynda um varmageislun (sbr. Silliman 1975). Lloyd (1857, bls. 136) og Verdet (1869, bls. 444-445) segja að Fresnel hafi gert ráð fyrir þverbylgjum á undan Young eða óháð honum, og að Young hafi jafnvel talið að þver-þáttur bylgjuhreyfingarinnar væri lítill. Einnig hefur verið bent á að R. Hooke stakk upp á þverbylgjum ljóss í riti sem út kom 1672.

7.2 Skautun ljóss – skýringar

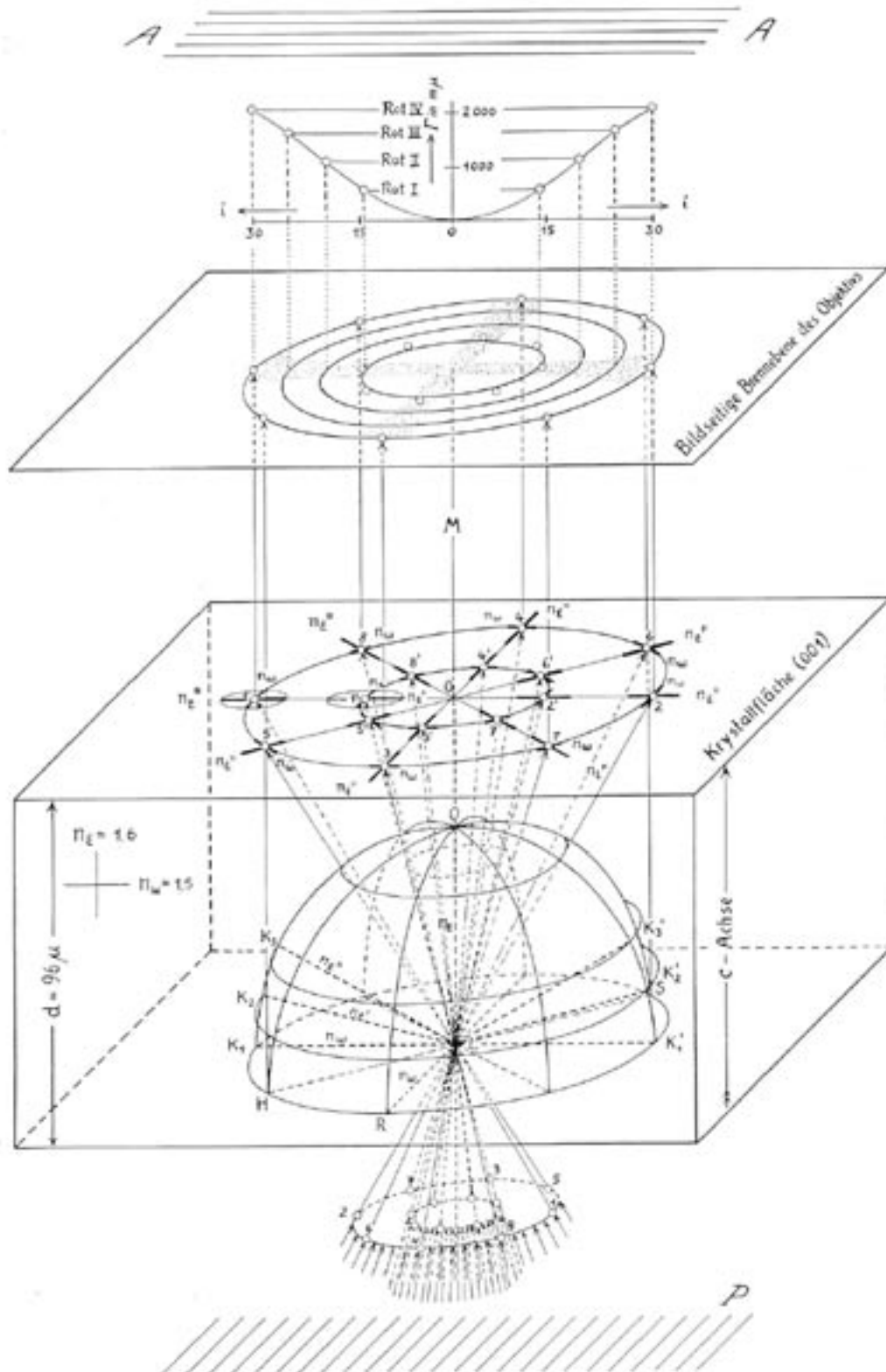
Af þeirri niðurstöðu að hreyfing í ljósbylgju í tómarúmi og gleri hlyti að vera þvert á útbreiðslustefnuna, mátti draga ýmsar ályktanir. Ein var sú, að ef útbreiðslan væri t.d. í z-átt, mætti líta á hina raunverulegu sveiflu ljóssins sem summu tveggja sveiflna með sömu tíðni



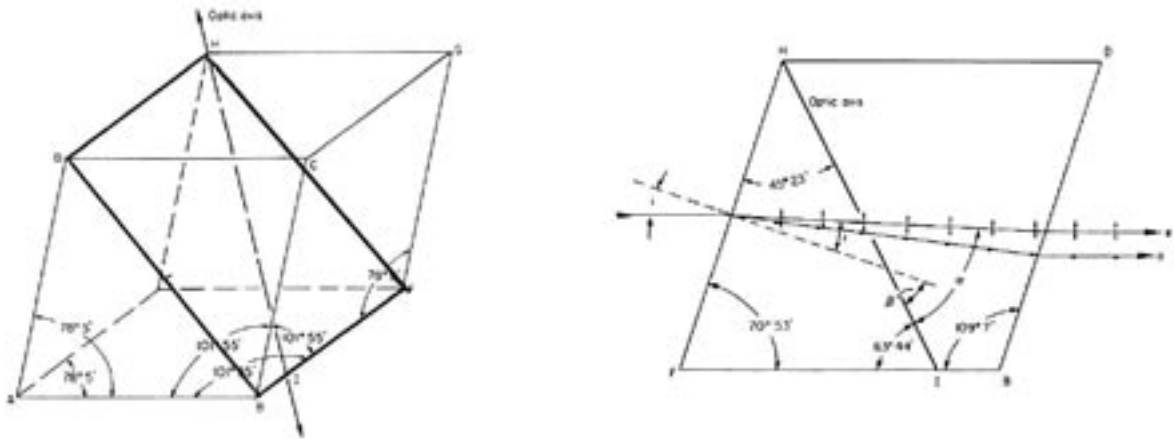
Mynd 7-2. Þrjú skautunar-ástand ljóss (að hluta séð frá sjónarhóli rafsegulfræði). Að ofan t.v.: Tvær eins bylgjur á leið eftir z-ásnum, rafsvið annarrar stefnir í x-átt en hinnar í y-átt. Samanlagt mynda þær línulega skautaða bylgju með rafsvið hallandi 45° frá báðum ásum. Að ofan t.h.: Annarri bylgjunni hefur seinkað um $\frac{1}{4}$ úr sveiflu miðað við hina, við að fara gegnum “fjórðungs”-þynnu af glimmer. Samanlagt mynda þær hringskautaða bylgju. Að neðan: Almennara tilfelli, þar sem önnur bylgjan er minni en hin og fasamunur minni en $\frac{1}{4}$ sveifla. Helmingur hvorrar bylgju er sýndur. Samanlagt mynda þær ellipsuskautaða bylgju. Einfaldað úr J.B. Marion og W.F. Hornyak: Physics, 1982.



Mynd 7-3. Um tvær af mörgum uppgötvunum D. Brewsters. Að ofan t.v.: Sá hluti ljósafls sem endurkastast frá glerfleti, við mismunandi innfallshorn. Efri og neðri kúrfan eiga við ljós með mismunandi línulega skautun miðað við innfallsplanið, en mið-kúrfan er fyrir venjulegt ljós. Við Brewster-hornið $\arctan(n)$, sem er $56-60^\circ$ fyrir algengar glertegundir, endurkastast ekkert af öðrum geislanum. Úr Jenkins og White (1957). Að ofan t.h.: Búnaður til að skoða þynnu P af tvíása kristalli í samleitnu (konvergent) skautuðu ljósi. Nicol-prismun samsvara P og A í næstu mynd. Úr Weinschenk (1925). Mynstur sem sjást með þessum búnaði eru fyrir neðan, t.h. við mismunandi skilyrði í einása kristalli (ef ljósaflinn er hornrétt á plötuna), t.v. ef kristall hefur tvo ljósása. Úr bók Lloyds (1857).



Mynd 7-4. Skýringarmynd af því hvernig hringirnir og skuggakrossinn í myndinni næst á undan verða til. Keilulaga ljósvöndur kemur að neðan, gegnum skautarann P og plötu úr einása kristalli. Hringirnir myndast vegna ljósvíxla venjulega og óvenjulega geislans. Krossinn verður til þar sem summa ljósvectorsins í þessum geislum sveiflast þannig að greini-prismað A sleppi litlu af því ljósi í gegn. Úr Houben-Weyl (1955).



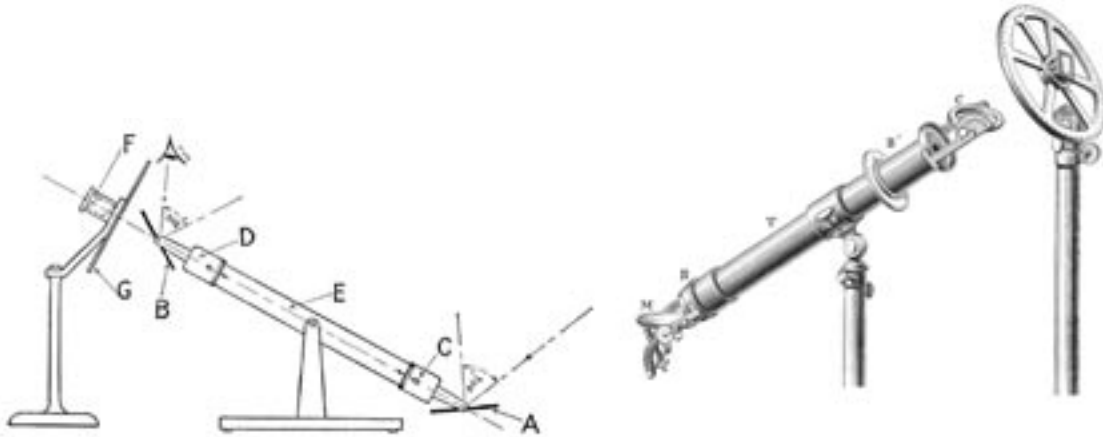
Mynd 7-5A. Til vinstri er strendingur af silfurbergi, eitt af þrem meginсниðum er feitstrikað. Til hægri sést geislagangur þegar ljósgeisli fellur á aftari hlið strendingins undir innfallshorni i í meginсниðsplaninu. Í óvenjulega (e-) geislanum liggur skautunarstefnan í meginсниðinu (upp-niður örvar), en í venjulega (o-) geislanum er hún hornrétt á það (punktar). Hornin α og β koma inn í formúlur til að reikna hornið ϕ , sjá texta. Úr Bennett og Bennett (1978).

sem önnur væri í áttina x en hin í áttina y , í rétthyrndu hnitakerfi. x -áttina má maður velja eftir aðstæðum, til að einfalda sér reikninga sem mest. Sjá Mynd 7-2.

Ef x - og y -þættir sveifluvektors á tilteknum stað eru að stærð X og Y og ná hámarki á sama augnabliki (eða annar hámarki og hinn lágmarki), liggur hann ætíð í sama fletinum sem myndar hornið $\arctan(Y/X)$ við xz -flötinn. Þetta var nefnt „línuleg skautun“ ljóssins. Ef annar þátturinn var fjórðung úr sveiflu á undan eða eftir hinum og þeir jafnstórir, fer sveifluvektorinn í hring ef horft er eftir z -stefnunni, eða réttara sagt skrúfuhreyfingu, því að bylgjan sjálf geysist áfram með hann. Það nefnist hringskautun, og er talað um hægri eða vinstri hringskautun eftir því hvor snúningsstefnan er. Sé tímamunurinn enn annar og/eða þættirnir misstórir, verður braut ofanvarps vektorsins á xy -flötinn ellipsa, og kallaði Fresnel það ellipsuskautun (Mynd 7-2, að neðan). Í stað tímamunar er venjulega notað svonefnt fasahorn milli x - og y -sveiflanna, sem er þá 0 eða 180 gráður í línulegri skautun, 90 eða 270 gráður í hringskautun o.s.frv. Venjulegt ljós, til dæmis frá sólinni eða lampa, er samsett úr geislum af öllu þessu tagi á tilviljanakenndan hátt, og er sagt vera óskautað.

7.3 Brewster: Brewsters-horn, tvíása kristallar o.fl. 1810-20

Víkur nú sögunni um hrið til Skotlands, þar sem D. Brewster (Mynd 7-1) vann sjálfstætt að hinum margvíslegustu athugunum og tilraunum á ljósi og efnunum. Nær ritaskrá hans á árabílinu 1800-69 (Morrison-Low og Christie 1984) yfir 1200 titlum, allt frá smáklausum upp í heilar bækur, auk þess sem hann átti mikinn þátt í félagsstarfi og útgáfu tímarita um raunvísindi. Brewster virðist ekki hafa tekið ákveðna afstöðu með bylgjukeningunni um ljósið. Meðal niðurstaðna úr tilraunum hans í kringum 1811 var sú (Brewster 1815a) að ef ljós með „samsíða skautun“ fellur úr lofti á skilflöt við t.d. gler eða vatn, endurkastast ekkert af því þegar tangens af innfallshorninu (ϕ á Mynd 7-3 að ofan t.v.) er jafn brotstuðlinum n . Þetta horn heitir síðan



Mynd 7-5B. Tvær myndir af polariskopi J.B. Biots. Sú til vinstri er úr Cheshire (1923) samkvæmt lýsingu í eðlisfræðibók Biots frá 1816. A er glerplötu-skautari. Horft er ýmist að ofan í glerspegilinn B (auga) eða að hann er tekinn af og horft frá vinstri gegnum silfurbergið F sem má snúa um langás tækisins. G er gráðubogi. Myndin til hægri er úr Mascart (1891) samkvæmt lýsingum Biots í greinum frá 1812-14. M er glerplötu-skautarinn. Kristalla-þynnur til að skoða voru settar á pallinn C, og horft var gegnum silfurbergskubbinn á gráðuboganum hægra megin.

eftir Brewster. Fyrir gler með $n = 1.5$ er Brewster-hornið 56.3° . Flóknari lögmál gilda um endurkast frá tvíbrjótandi kristöllum eins og silfurbergi, sjá síðar.

W.H. Wollaston sagði Brewster frá þeirri uppgötvun sinni 1814, að litaðir hringir með krossi í miðju sæust þegar horft væri gegnum silfurbergsþynnu skorna hornrétt á ljósásinn, í samleitnu ljósi. Brewster, sem hafði sjálfur séð svipað fyrirbrigði í nokkrum eðalsteinum (Brewster 1813a, sjá einnig Brewster 1860), kannaði þetta í mjög mörgum steindum (*Mynd 7-3, Mynd 7-4*). Hann staðfesti á þennan hátt (Brewster 1818b, 1819-20) þá niðurfEherstöðu sem Bernhardi hafði fundið í færri tilfellum, að samhverfa í ytra formi kristalla kemur líka fram í ljóseiginleikum þeirra: kristallar kubiska kerfisins sýna ekki tvöfalt ljósbrot og sumir kristallar úr öðrum kerfum (sjá kafla 9.1) hafa einn ljósás. En í enn öðrum kerfum fann Brewster að kristallarnir höfðu tvo ljósása. Þessar meiriháttar uppgötvanir urðu fljótlega, ekki síður en þynnu-litir Aragos og Biots í samsíða ljósi, afar mikilvægt tól til rannsókna á steindum.

Enn ein uppgötvun Brewsters (1815c, 1816a) var sú, að kubbar eða plötur úr efnum eins og gleri, vaxi, kálflappa-hlaupi og flússpati sem venjulega sýna ekki tvöfalt ljósbrot, gera það ef þeir eru undir þrýstingi í eina átt. Fékk það fyrirbrigði heitið „artificial“ eða „accidental“ tvöfalt ljósbrot. Bæði Brewster (1814), T.J. Seebeck (1813, 1814) og Biot (1815c) könnuðu jafnframt (ýmist með glerspeglum eða silfurbergi) tvöfalt ljósbrot í hraðkældu gleri, sem sterkar innri þrýsti- og togspennur eru í. Vakti þetta talsverða athygli, sjá Biot (1816b), og þeir Brewster og Seebeck fengu verðlaun frá frönsku akademíunni fyrir. Sjá nánar um þessi mál í kafla 15.3. Hér má nefna í framhjáhlaupi, að skáldið J. W. Goethe var mjög áhugasamur um lita- og ljósfræði og hafði gefið út stórt ritverk um þau mál, „Zur Farbenlehre“ 1810. Malus og fleiri gagnrýndu á prenti þær kenningar Goethes, enda taldi hann t.d. hvítt ljós ekki vera samsett úr öðru. Út af þessu átti Seebeck í bréfaskiptum við Goethe (m.a. um rannsóknir sínar og fyrri uppgötvanir Malus, Biots og Aragos á ljósskautun), og sendi honum í árslok 1812 prisma úr Doppelspath. Í riti Goethes „Ergänzungen zur Farbenlehre“, sem út kom 1820, er sitthvað um silfurberg, kristalþynnu-liti og tengd mál.

Brewster (1816b) sýndi fram á tvöfalt ljósbrot í augasteinum, og kannaði ýmislegt varðandi ljósfræði augna og sjónar á næstu áratugum. Þær rannsóknir segja Morrison-Low og Christie (1984, bls. 101-103) að hafi átt verulegan þátt í að „lay foundations for modern biophysics“. Brewster gerði einnig nokkrar rannsóknir á silfurbergi (m.a. Brewster 1815b) og notaði kristalla eða prismu úr því við ýmsar aðrar rannsóknir sínar. Hann nefnir það oft „calcareous spar“ en einnig „Iceland spar“ (a.m.k. Brewster 1813b, 1814, 1815b) og t.d. segist hann (Brewster 1818a) hafa eignast nýverið „some very perfect specimens of calcareous spar“. Ekki hef ég séð mikið um það í ritum hans hvaðan þessi sýni komu (sjá Viðauka 4), en í einni grein 1819 nefnir hann kalkspat frá Færeyjum, og í annarri frá Írlandi.



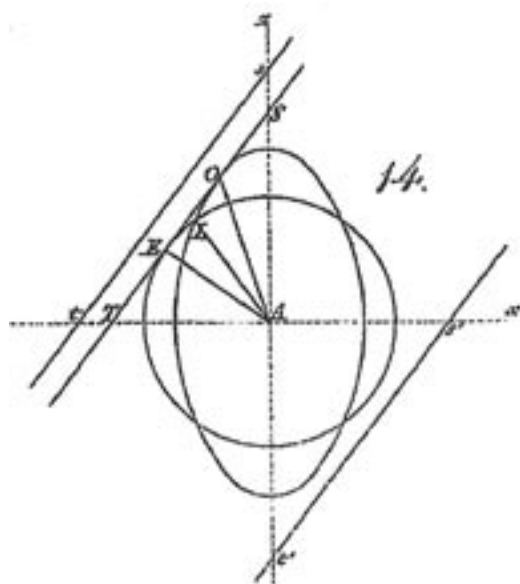
8 Frekari afrek Fresnels, 1817-27

A. Fresnel lést um aldur fram 1827, en var óhemju duglegur við vísinda- og ritstörf síðasta áratug þeirrar ævi. Lloyd (1857, bls. 136) segir rannsóknir hans á ljósi sem þverbylgju hafa orðið undirstaða „the noblest fabric which has ever adorned the domain of physical science, Newton’s system of the universe alone excepted“ (Í British Assoc. Report 1832 vitnar D. Brewster raunar til mjög svipaðrar yfirlýsingar, en þar eru fleiri nafngreindir afreksmenn í fræðunum látnir njóta lofsins ásamt Fresnel). Við upphaf 150-bl. þýðingar á ritgerð Fresnels (1822b) um skautun ljóss o.fl. í *Annalen der Physik* 3, 1825 spáir útgefandinn því neðanmáls að rannsóknir hans muni hafa mikil áhrif á ýmsum sviðum eðlisfræðinnar, og telur að ljósfræði hafi verið alltof lítill gaumur gefinn í Þýskalandi. Samhengi ritsmíða Fresnels og saga birtingar þeirra er allflókið mál (sjá t.d. Buchwald 1989 eða Grattan-Guinness 1990), og verður hér aðeins stiklað á stóru.

8.1 Kenningar og tilraunir Fresnels um ljós í venjulegum efnum

Fresnel (1817, o.fl.) tók sér meðal annars fyrir hendur að kanna hvernig ljósbylgja berst í gegnum venjulegt (ókrystallað) efni eins og gler. Af ótrúlegu innsæi tókst honum að spá fyrir um margskonar hegðun ljóssins í þessu umhverfi. Meðal annars fékk hann út nákvæmar jöfnur um það hve mikið af ljósi sem fellur á flöt af t.d. gleri eða vökva undir breytilegu innfallshorni, endurkastast. Mátti finna með tilraunum, að hegðun ljóss sem er línulega skautað í innfallsplaninu var talsvert frábrugðin hegðun ljóss sem er línulega skautað hornrétt á það plan. Lögmál Brewsters, sem hægt var að staðfesta allnákvæmlega með mælingum, segir að við eitt tiltekið innfallshorn endurkastist ekkert af öðrum geislanum, og er það því einfalt sértilfelli af hinum almennu reglum Fresnels. Á nokkru bili innfallshorna kringum Brewsterhornið endurkastast lítið af þeim geisla (*Mynd 7-3*), og var það fyrirbrigðið sem hafði leitt til uppgötvunar Malus 1808.

Búnaður til mælinga á ljósstyrk var ekki nákvæmur um þetta leyti, og segir t.d. Winkelmann (1906, bls. 1249) að endurkastsformúlur Fresnels hafi ekki verið prófaðar með beinum hætti fyrr en 1874. Fengu niðurstöður hans í heild hinsvegar margháttaða aðra staðfestingu eins og síðar verður vikið að, og eru fyrrnefndar reglur enn settar fram í háskóla-kennslubókum um ljósfræði. Sjálfur gerði Fresnel mjög snjallar tilraunir til að prófa aðrar niðurstöður sínar, meðal annars með „un rhomboide de spath d’Islande“ og með glerprisma því sem síðan er við hann kennt (Fresnel 1822a): það breytir línulega skautuðu ljósi í hringskautað á leið sinni í gegn



DE LA DOUBLE RÉFRACTION ET DE LA POLARISATION

57. — Lorsqu'on fait tomber un faisceau lumineux sur une des faces naturelles d'un rhomboïde de spath calcaire, il se divise dans son intérieur en deux autres faisceaux, qui suivent des routes différentes, et présentent ainsi deux images des objets vus au travers du rhomboïde. On a donné le nom de double réfraction à ce phénomène, ainsi qu'à tous ceux du même genre que produisent beaucoup d'autres cristaux, quand on les taille en prismes pour rendre plus sensible la séparation des deux images.

58. — Mais cette bifurcation de la lumière n'est pas le seul fait remarquable qu'offre la double réfraction : chacun des faisceaux dans lesquels se divisent les rayons incidents jouit de propriétés singulières, qui établissent des différences entre ses côtés. Pour décrire avec précision les phénomènes qu'elles présentent, il est nécessaire d'employer et de faire connaître les expressions usitées.

Dans les cristaux où les lois de la double réfraction sont

Mynd 8-1A. T.v.: Ein þekktasta skýringarmyndin úr grein Fresnels (1827) er um útbreiðslu ljósbylgju í tvíása kristalli. T.h.: Í þessum texta úr endurprentun yfirlitkafla Fresnels (1822a) um ljós, kemur fram að eins og aðrir notaði hann silfurberg sem fyrirmynd að einása kristöllum.

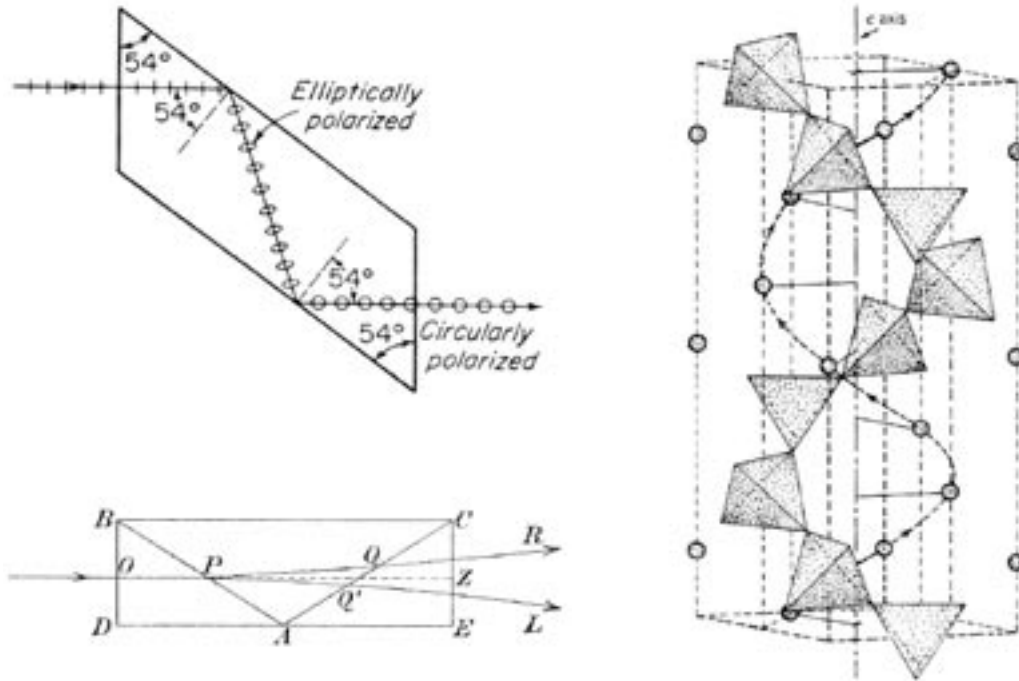
(Mynd 8-1B). Voru þær tilraunir sannfærandi stuðningur við bylgjukenninguna (sjá t.d. Biot 1817, bls. 133-136).

Fresnel birti hinsvegar ekki forsendur sínar né útleiðslur á formúlum um bylgjuútbreiðsluna: bæði mun honum hafa verið ljóst að forsendurnar voru að vissu leyti ekki raunhæfar, og eins voru þeir reikningar sem lágu formúlunum til grundvallar, afar flóknir. Ritgerð Fresnels um þetta var ekki birt fyrr en í heildarútgáfu verka hans (Fresnel 1866-70). Bylgjuhraði í fjaðrandi efnum er almennt jafn kvaðratrót af hlutfalli fjaðurstuðuls og eðlismassa. Fresnel gaf sér, að í ljósvakanum í mismunandi efnum væri fjaðurstuðullinn sá sami, en eðlismassinn mismunandi. Af því mátti draga þá ályktun, að hristi-hreyfing ljósvakaagnanna væri hornrétt á það sem Malus og aðrir kölluðu „skautunarplan“ línulega skautaðs geisla.

8.2 Kenningar Fresnels um tvöfalt ljósbrot í kristölluðum efnum

Ástæðurnar fyrir þeim litum og ljósrákum sem þynnur af maríugleri, gipsi og öðrum steindum sýna í skautuðu ljósi, voru rannsakaðar nánar m.a. af Fresnel (1821). Hann skýrði þær út frá bylgjukenningunni, og reyndi Biot að koma í veg fyrir að akademian gæfi út ritmið Fresnels um þetta, en það tókst þó með stuðningi Aragos. Þessi fyrirbrigði urðu síðar að mjög miklu gagni í allri kristalla-, steinda- og bergfræði, sjá aftar.

Fresnel (m.a. 1821-22, 1822b, 1827) rannsakaði einnig bylgjuhreyfingu ljósvakans í kristöllum, bæði einása (s.s. silfurbergi, Mynd 7-5A) og tvíása. Í stað þess að skoða bylgjuhreyfingu sem bærisk út frá einum punkti, skoðaði hann ferðir planbylgna sem voru á leið í gegnum þennan punkt og stefndu í allar mögulegar áttir. Fresnel skilgreindi ný hugtök sem margir síðari rannsakendur notuðu og voru m.a. gefin nöfnin „fjöðrunar-ellipsoíða“ og „bylgju-yfirborð Fresnels“. Með þeim forsendum sem hann lagði til grundvallar, mátti leiða út að sveifluhreyfing ljóssins barst í gegnum slíkt efni sem tvær bylgjur. Í einása kristalli



Mynd 8-1B. T.v. að ofan: Glerprisma Fresnels, sem breytti línulega skautuðu ljósi í hringskautað með því að láta það verða fyrir fullkomnu endurkasti tvívegis á leiðinni (úr Jenkins og White 1957). T.v. að neðan: Prismu Fresnels samsett úr kvarsfleygum með hægri og vinstri snúningi. Línulega skautað ljós kemur frá vinstri og klofnar í tvo geisla, annar er með hægri hringskautun og hinn vinstri eins og Fresnel hafði spáð. T.h.: Spirálbygging kvars, sem Fresnel stakk upp á til skýringar á optiskri virkni þess. Hún fékk staðfestingu meira en öld síðar með röntgengeisla-rannsóknum (úr Wahlstrom 1969).

eins og silfurbergi, barst ljós alltaf út sem fram-og-aftur hristingur ljósvakaagnanna í tveim bylgjum. Lögun útreiknaðs bylgjuyfirborðs fyrir sveiflur agnanna í óvenjulega geislanum var nákvæmlega sú sem Huyghens hafði stungið upp á 1690. Þær sveiflur lágu í plani sem ákvarðaðist af ljósásnum og útbreiðslustefnu geislans. Sveifluhreyfingin í venjulega geislanum var hornrétt á þá fyrrnefndu og jafnframt hornrétt á eigin útbreiðslustefnu hans (Verdet 1869; Wood 1977, bls. 81-82).

Hér má koma að hugtakinu „meginsnið“ í einása kristalli (*Mynd 7-5A*), en Huyghens (1690) áttaði sig fyrstur á mikilvægi þess. Í kalkspati eru það þrjú plön sem hvert um sig innihalda ljósásinn og eru hornrétt á einn þriggja klofningsflata. Þau skera kristallinn í samsíðungi sem hefur hornin $71^\circ/109^\circ$. *Mynd 7-5A* sýnir þegar ljósgeisli fellur á silfurbergsflöt: þversnið náttúrulegs strendinga af því er vinstra megin. Feitstrikaði flöturinn HDBF er eitt meginsniðanna í kristallinum. Þetta meginsnið er hornrétt á yfirborðin EFGH og ABCD. Hugsum okkur svo, að ljós komi innan úr blaðinu gegnum hliðina EFGH undir innfallshorni i . Hægri myndin sýnir hvernig venjulegi geislinn o (með skautun hornrétt á sniðið) brotnar skv. lögmáli Snells, en óvenjulegi geislinn e brotnar í aðra átt, frá optiska ásnum. Tilgáta Huyghens leiðir til þess að hraði e -bylgjunormalsins v í efninu finnst úr jöfnunni $v^2/c^2 = \sin^2\phi/n_e^2 + \cos^2\phi/n_o^2$. ϕ er hornið milli ljósássins og bylgjunormalsins (ekki sýnt á *Mynd 7-5A*).

Í tvíása efnum barst ljós sem tveir „óvenjulegir“ geislar, en enginn „venjulegur“, þ.e. með fastan brotstuðul. Í þeim kristöllum er bylgju-yfirborð Huyghens ellipsoíða með þrjá mislanga ása. Í gegnum miðpunkt slíkrar ellipsoíðu má alltaf leggja tvö plön þannig, að skurð-kúrfan

sé hringur (*Mynd 8-1A*). Ljósásarnir eru hornrétt á hvor sinn hring, og er hornið milli ásanna misjafnt eftir steindum. Sjá um mikilvæga tilraun varðandi þessi efni í kafla 10.4.

Fresnel (1822a) kannaði einnig optiska virkni í kvarsí. Hann taldi þessa virkni tengjast því að hringskautaðar ljósbylgjur með hægri og vinstri snúningi færu ekki jafnhrott inni í efninu, og staðfesti þá tilgátu sjálfur á snjallan hátt með samsettum kvarsprismum (*Mynd 8-1B*). Fresnel stakk upp á þeirri skýringu hennar, að frum-agnir kvarsins (molécules integrantes) röðuðu sér í einhverskonar spírala, og reyndist hann þar sannspár (sjá t.d. Wahlstrom 1969, *Mynd 8-1B*).

9 Um kristallafræðina og ýmsan þátt kalkspats í þróun hennar framan af 19. öld

9.1 Ýmislegt um kristallafræði og ljós, 1815-30

Um 1815 var orðið ljóst að hver kristall gat tilheyrt einu af sex kristalla-kerfum (systems), sem eftirtalin nöfn eru núna notuð um, í röð minnkandi samhverfu.

Kerfi *kubiskra* eða „reglulegra“ kristalla, sem byggðir upp úr þrívíðu teningslaga grunn-neti agna. Dæmi um það eru matarsalt og ýmis málmsúlfið. Þeir sýna ekki tvöfalt ljósbrot eins og fram hefur komið (nema í þeim séu gallar, sjá kafla 18.2).

Kristallar með einn ljósás (*einása*, uniaxial) kristallar tilheyra *tetragonal*- og *hexagonal*-kristallakerfunum. Þau hafa eins og nöfnin benda til, fjórfalda og sexfalda samhverfu um einn ás, optiska ásin. Til einása kristallanna hefur lengi verið talið með sjöunda kristallakerfið, nefnt *trigonal*, en eftir tilkomu röntgengeisla-greiningar á kristalbyggingu (1913) fóru margir að líta á trigonal-kerfið sem hluta af hexagonal-kerfinu. Kalkspat var sagt tilheyra rhombohedral- flokki í trigonal-kerfinu. Kvars er einnig trigonal.

Tvíása (biaxial) kristallar tilheyra þrem kerfum: annarsvegar *orthorhombiska* kerfinu, sem hefur mesta samhverfu þeirra. Dæmi úr því kerfi eru m.a. steindirnar olivin og aragonit (CaCO_3). Hinsvegar tilheyra þeir *monokliniska* eða *trikliniska* kerfinu: af þeim steindum má nefna steindirnar ágít og plagioklas-feldspöt sem algengar eru í íslensku blágrýti. Innan steindaraðar með breytilega samsetningu (t.d. olivins eða plagioklas-feldspatanna) breytist hornið milli ljósásanna verulega með efnahlutföllunum. Ásahornið er einnig breytilegt með bylgjulengd ljóssins (Herschel 1820, o.fl.), og síðar fannst jafnframt, að ljóseiginleikar tvíása efna eru mjög háðir hitastigi.

Tvær merkar greinar um skiptingu kristalla-kerfanna niður í flokka eftir samhverfu-sjónarmiðum eftir M.L. Frankenheim og J.F.C. v. Hessel birtust um 1830, en öllum yfirsáust þær í nokkra áratugi (Lima-de-Faria 1990, bls. 46; Beckenkamp 1923, o.fl.). Margs konar nafna- og númerakerfi hafa verið notuð til að skilgreina þessa flokka.

9.2 Um kalkspat sérstaklega, og bergkristall (kvars)

Kalkspat lék stórt hlutverk í allri þróun kristalla- og steindafræðinnar, eins og sjá má af eftirtöldum staðhæfingum: „The calcite modification of CaCO_3 is one of the most extensively studied of all crystals“ (Wyckoff 1924, bls. 356). „[Kalkspat ist] in wissenschaftlicher Beziehung die wichtigste Mineralgattung ... Die Geschichte des Kalkspates ist die Geschichte der Mineralogie“ (Tschermak-Becke 1915, bls. 529).

Gildi kalkspatsins stafar e.t.v. einna mest af tvennu. Annars vegar er kristalgerð þess hæfilega ósamhverf til að í eiginleikum þess komi skýrt fram mörg mikilvæg atriði sem eru dæmigerð fyrir kristalla aðra en þá kubisku, en þó er hún ekki ósamhverf um of. Sjá t.d. Barlow (1883), og Kreutz (1908) segir: “Die hohe Symmetrie des Kalkspats erlaubt alle Unregelmässigkeiten in der Ausbildung sogleich zu erblicken, was bei weniger symmetrischen Krystallen viel schwerer ist“. Hins vegar koma kalkspatkristallar fyrir í mjög mörgum myndum (sjá *Mynd* 5-3), og er fyrsta samantektin á þeim gerð í stóru verki Bournons (1808). „...das entwickeltste aller Krystallsysteme [ist] das rhomboedrische System des Kalkspaths“ segir Hochstetter (1854, útdr.). Irby (1878) telur upp rúmlega 200 einföld form, og mörg hundruð samsett form. Samkvæmt Bauer (1904, bls. 578) eru um 280 einföld form þekkt, og: „Der Kalkspat ist der ausgezeichnetste Repräsentant der rhomboedrischen Hemiedrie... Zugleich ist er eines der formenreichste Mineralien, die es gibt, und steht vielleicht in dieser Beziehung an der Spitze von allen“. Svipað kemur einnig fram hjá Brauns (1903, bls. 386), og fleirum fram til okkar daga.

Kvars var einnig mjög mikið rannsakað hvað varðaði kristallafræði þess, ljóseiginleika og aðra eðlisfræðilega hegðun. „Sowohl durch ihre grosse Verbreitung, als durch ihre vorzügliche Kristallisationsfähigkeit und ihr physikalischen Verhalten sind Quarz und Kalkspat wohl die wichtigsten Mineralien“ (Beckenkamp 1912, bls. 62). Kvarsið var þó greinilega ósamhverfari kristall en kalkspat, og áherslur í rannsóknum á kvarsi urðu því sjálfkrafa miklar á atriðum þar sem það skar sig frá kalkspati, svo sem optiskri virkni. Kvars var miklu betra en kalkspat til ýmiskonar nota í eðlisfræði vegna mikillar hörku sinnar, hitaþolni, lítillar rafleiðni, einstakra fjaður-eiginleika kvarsþráða, o.fl. Þrýstirafhrifum (piezoelectricity) í kvarsi var veitt vaxandi athygli, og urðu þau mikilvæg í ýmiskonar tækni á 20. öld. Curie-bræður sem áttu mikinn þátt í þeirri þróun, tóku raunar snemma í rannsóknum sínum (Curie og Curie 1880) undir það (sem e.t.v. var búið að finna áður) að niðurstöður Hauys gamla og annarra um þrýstirafhrif í kalkspati sem nefndar voru í kafla 5.3, væru rangar. Þar hefðu menn líklega látið núningsrafmagn villa sér sýn, enda er samhverfa kalkspats slík að það á ekki að sýna þessi hrif.

9.3 Eiginleikar íslenska silfurbergsins

Um eða fyrir miðja 19. öld var væntanlega þetta orðið ljóst um íslenska silfurbergið miðað við annað kalkspat:

1. Í því var mun hreinna kalk en í öðrum slíkum kristöllum (sjá 26. kafla og Viðauka 2). Í kalkspatkristöllum frá ýmsum stöðum á meginlandi Evrópu voru gjarna frá 0,3% og upp fyrir 5% aukaefni (Doelter 1912, bls. 275-276; Hintze 1930), en í því íslenska gátu verið innan við 0,05%.

2. Kristallarnir gátu orðið mjög stórir, og mun sá stærsti vera tilgreindur af Des Cloizeaux (1846-47), um 6 sinnum 3 metrar.

3. Kristallana mátti mjög auðveldlega kljúfa eftir megin-stefnunum þrem, en þesskonar skástrendingar voru sjaldfengnari úr kalkspatkristöllum annars staðar frá (sjá t.d. Naumann 1885, Hintze 1930). Klofnings-yfirborðin gátu verið mjög slétt og hrein án slípunar, sem var heppilegt fyrir ýmsar tilraunir. Mér er ekki ljóst hve mikið af kristöllum í Helgustaðanámunni hafði þessa einföldu lögun (fundamental rhombohedron) af sjálfu sér.

4. Í kalkspatkristöllum frá öllum fundarstöðum var algengt að sjá holrúm (stundum með vökva), skýjun, innlyksur, sprungur, tvíburamyndun (m.a. ef kristall efnis vex í tvær mismunandi áttir frá sama fleti) og fleiri óreglur nefndar „optical anomalies“, t.d. þannig að kristallarnir höfðu tvo ljósása í stað eins (sjá t.d. Madelung 1883). Þetta átti einnig við um íslensku námuna, en hún var hinsvegar (a.m.k. fram til um 1900) sú eina þar sem jafnframt fannst talsvert af stórum gallalausum kristöllum. „Der isländische Doppelspat wird deshalb auch vorzugsweise in Versuchen über doppelte Brechung angewandt“ (Lummer 1909, bls. 835).

Við rannsóknir með röntgengeislum um 1920 (sjá 36. kafla) kom í ljós að bygging góðra eintaka af silfurbergi er einna næst því að vera fullkomlega regluleg, af öllum kristöllum sem finnast í náttúrunni. Partington (1952, bls. 93 og 148) nefnir þar einnig til sögunnar demant og kvars, en aðrir gefa lítið fyrir kvarsíð og hafa í staðinn til dæmis zinkblend. Það var oft mikilvægt fyrir vísindamenn að nýta þennan fullkomleika í tilraunum sínum og geta treyst því að margir kristallar sama efnis væru hver öðrum líkir. Þetta síðasta endurómar Cornu (1874a, bls. 2-3) í grein um ítarlegar rannsóknir sínar á tvöföldu ljósbroti, og segir í inngangi: „Les expériences ont été faites, pour la plupart, avec les prismes de spath d’Islande, substance qui se recommande spécialement, pour ce genre d’études, par son homogénéité, sa transparence, la perfection géométrique de ses clivages et l’énergie de sa double réfraction...“, einnig „la constance de ses propriétés optiques...que les déterminations faites par un grand nombre de physiciens sont presque identiques.“ Aðrir glærir misátta kristallar eins og kvars, tópas, bariumsúlfat eða aragonit standi silfurberginu langt að baki á einn eða annan hátt. Meginvandkvæði við rannsóknir á silfurberginu liggja hinsvegar í því hve lint það sé og erfitt að slípa á það slétta fleti.



10 Arftakar Fresnels, 1820-40

10.1 Fjaður-bylgjur

Um 1820 fóru vísindamenn að reyna að lýsa því hvernig fjaður-bylgjur (hljóð) berast almennt gegnum föst efni. Fer ekki milli mála, að sú þróun var nátengd árangri Fresnels og annarra í ljósfræði: „...under the stimulus of Fresnel’s discoveries, some of the best intellects of the age were attracted to the subject“ segir E. Whittaker (1951) í þekktri bók. Meðal þeirra fyrstu voru menn við École Polytechnique, vegna verkfræðilegs gildis þekkingar á bylgjum í efnum.

Tókst að leysa ýmis flókin stærðfræðileg vandamál sem þar komu við sögu (*Mynd 10-1*), og þarf ekki að spyrja að almennu mikilvægi þess árangurs. Nefni ég hér lykil-greinar eftir þrjú helstu frumkvöðla þessara fræða, C. Navier (1824, flutt 1821), A. Cauchy (1823, *Mynd 10-2A*), og S.D. Poisson (1829, 1830, sjá Lloyd 1834) er vörðuðu einsátta föst efni eins og gler. Þau efni reyndust bera tvennskonar bylgjur: langsum-bylgjur og þversum-bylgjur, og fara þær síðarnefndu talsvert hægar. Þá var lagt til atlögu við kristölluð fjaðrandi efni, og leysti Cauchy (1828, o.fl.) hver bylgjuútbreiðsla í þeim væri við tiltekin skilyrði. Yfirborð bylgju frá punktuppsprettu í einása kristalli reyndust vera tvö, kúla og ellipsoíða eins og í tilgátu Huyghens um ljós í silfurbergi. Poisson (1842) hóf einnig að rannsaka fjaður-bylgjur í kristöllum, en náði ekki að ljúka því verki.

Af öðrum Frökkum sem áttu hlut að þróun fræðanna um spennuástand í efnum, fjaðurbylgjur og hljóð upp úr 1830, má nefna P. A. Laurent og G. Lamé sem rituðu einnig greinar um ljósfræði, m.a. Lamé (1834). Verk Lamés reyndust gagnleg síðar (sjá Timoshenko 1953, Gårding 1989), svo sem í rannsóknum á fjaðureiginleikum efna með skautuðu ljósi (sjá Delanghe 1928).

10.2 Ljósavaka-vandamálið á meginlandinu, einkum kenningar, til 1840

Ljósvakinn og bylgjur í honum inni í efnum urðu tilefni mikilla heilabrota hundruða eða þúsunda vísindamanna fram undir 1890. Fræðilegar jöfnur um bylgjuhreyfinguna urðu að sjálfsgöðu að koma heim við þær niðurstöður sem þegar var búið að fá með tilraunum Fresnels og annarra á endurkasti ljóss frá einsátta efnum, lögun bylgjuyfirborðs í efnum með tvöfalt ljósbrot, o.s.frv. Komið var fram kringum 1830, að ef ljósgeisli sem var þversum-fjaðurbylgja í ljósvakanum, lenti á skilfleti milli ólíkra fastra efna sem ekki sýndu tvöfalt ljósbrot (t.d. gler og matarsalts), þá var ómögulegt að uppfylla sanngjörn skilyrði á þeim skilfleti (eins og um orkugeymd og samfelldni) ef þar kæmu aðeins fram endurkasts- og gegnskins- þversumbylgjur:

Man setze ferner in den Werthen von l, n für $\sin \phi, \cos \phi$, wo sie allein vorkommen, die Werthe

$$\begin{aligned} \sin \phi &= \sin \phi' \cos(\phi - \phi') + \cos \phi' \sin(\phi - \phi') \\ \cos \phi &= \cos \phi' \cos(\phi - \phi') - \sin \phi' \sin(\phi - \phi'), \end{aligned}$$

so erhält man

$$\begin{aligned} l &= A^2 \cos(\phi + \phi') \{ \sin^2 \omega \sin \phi' \cos(\phi - \phi') + \cos \phi' \sin(\phi - \phi') \} + \sin \phi' M \\ n &= \cos(\phi + \phi') \{ A^2 \sin^2 \omega \cos \phi' \cos(\phi - \phi') - (C^2 + A^2 \sin^2 \omega) \sin \phi' \sin(\phi - \phi') \} + \cos \phi' M. \end{aligned}$$

Es sei jetzt

$$\begin{aligned} C + A \cos \omega \operatorname{tang} \phi' &= \frac{l + m' \cos \omega}{n + p \cos \omega} \\ A - C \cos \omega \operatorname{tang} \phi' &= \frac{l' + m'' \cos \omega}{n + p \cos \omega}, \end{aligned}$$

so wird

$$\begin{aligned} l &= Cn + A \cos^2 \omega m & m' &= Cp + Al \\ l' &= An + C \cos^2 \omega m & m'' &= Ap - Cl \end{aligned}$$

oder wenn man die zuletzt angegebenen Werthe von l, m, n, p substituirt:

$$\begin{aligned} l &= C \cos(\phi + \phi') \{ A^2 \sin^2 \omega \cos \phi' \cos(\phi - \phi') - \sin \phi' \sin(\phi - \phi') \} + C \cos \phi' M \\ m' &= A \cos(\phi + \phi') \{ A^2 \sin^2 \omega \sin \phi' \cos(\phi - \phi') + \cos \phi' \sin(\phi - \phi') \} + A \sin \phi' M \\ l' &= A \sin^2 \omega \cos(\phi + \phi') \{ A^2 \cos \phi' \cos(\phi - \phi') - \sin \phi' \sin(\phi - \phi') \} + A \cos \phi' M \\ m'' &= -A^2 C \sin^2 \omega \sin \phi' \cos(\phi + \phi') \cos(\phi - \phi') - C \sin \phi' M. \end{aligned}$$

$$R = (R + G)a' + (P + H)b' + (N - 2 \frac{PQ}{R} + I)c' + \text{etc.}$$

Enfin, si l'on pose

$$(51) \begin{cases} \alpha = (L - 2 \frac{QR}{P} + G)a' + (R + H)b' + (Q + I)c', \\ \beta = (R + G)a' + (M - 2 \frac{RP}{Q} + H)b' + (P + I)c', \\ \gamma = (Q + G)a' + (P + H)b' + (N - 2 \frac{PQ}{R} + I)c'. \end{cases}$$

Dans la deuxième série, on a $\varphi = 90^\circ$, et, par suite,

$$T_1 = \sin i - \frac{a \sin i \cos i}{b \sqrt{-A + a^2 A \sin^2 i}},$$

$$T_2 = -\sin i + \frac{a \sin i \cos i}{b \sqrt{-A + a^2 A \sin^2 i}},$$

$$T_1 - T_2 = 2 \sin i \left(1 - \frac{a \cos i}{b \sqrt{-A + a^2 A \sin^2 i}} \right),$$

$$T_1 + T_2 = 0.$$

Ici les effets de gauche et de droite sont symétriques et l'on n'a pas de transport pour $i = 0$.

Dans la troisième série, on a

$$\varphi = 45^\circ, \quad \cos \varphi = \sin \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}},$$

$$T_1 = \sin i + \frac{1}{2} \cos i \left[\frac{(1 - a^2 A) \sin i}{A a b \sqrt{-A + \frac{1}{2} (A a^2 - 1) \sin^2 i}} + \sqrt{2} \frac{B}{A} \right],$$

$$T_2 = -\sin i + \frac{1}{2} \cos i \left[\frac{-(1 - a^2 A) \sin i}{A a b \sqrt{-A + \frac{1}{2} (A a^2 - 1) \sin^2 i}} + \sqrt{2} \frac{B}{A} \right],$$

$$\text{or } a^2 \sin^2 i = a^2 (\cos \alpha \sin \phi + \sin \beta \sin \phi') + b^2 (\sin \alpha \sin \phi + \cos \beta \sin \phi') \dots (6)$$

the relation between φ and ψ . Putting $\psi - \phi = \theta$, and taking account of (1), (6) becomes

$$\begin{aligned} 2a^2 \sin^2 i &= \{ a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha \} (1 - \cos(D + i + \theta)) \\ &\quad + \{ a^2 \sin^2 \beta + b^2 \cos^2 \beta \} (1 + \cos(D + i - \theta)) \\ &\quad + 2(a^2 \cos \alpha \sin \beta + b^2 \sin \alpha \cos \beta) (\cos \theta - \cos(D + i)), \end{aligned}$$

or

$$\begin{aligned} F &= a^2 \{ (\cos^2 \alpha + \sin^2 \beta) \cos(D + i) - 2 \cos \alpha \sin \beta \} \\ &\quad + b^2 \{ (\sin^2 \alpha + \cos^2 \beta) \cos(D + i) - 2 \sin \alpha \cos \beta \}, \\ G &= (a^2 - b^2) (\sin^2 \beta - \cos^2 \alpha) \sin(D + i), \\ H &= 2a^2 \sin^2 i - a^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \beta - 2 \cos \alpha \sin \beta \cos(D + i)) \\ &\quad - b^2 (\sin^2 \alpha + \cos^2 \beta - 2 \sin \alpha \cos \beta \cos(D + i)). \end{aligned}$$

Now when D , regarded as a function of θ , is a maximum or minimum $\frac{dD}{d\theta} = 0$, whence from (7)

$$-F \sin \theta + G \cos \theta = 0;$$

and eliminating θ from this equation and (7), we have

$$F^2 + G^2 - H^2.$$

Putting for F, G and H their values, and reducing, this equation becomes

$$\sin^2(D + i) a^2 b^2 - \{ \cos^2 \alpha + \sin^2 \beta - 2 \cos(D + i) \cos \alpha \sin \beta \} a^2 a^2 - \{ \sin^2 \alpha + \cos^2 \beta - 2 \cos(D + i) \sin \alpha \cos \beta \} a^2 b^2 + \sin^2 i a^2 = 0 \dots (8)$$

This equation will be rendered more convenient for numerical calculation by replacing products and powers of sines and cosines by sums and differences. Treated in this manner, the equation becomes

$$\text{versin } 2(D + i) a^2 b^2 - (A + B) a^2 a^2 - (A - B) a^2 b^2 + \text{versin } 2i a^2 = 0 \dots (9)$$

where $A = \text{versin } D + \text{versin } (D + 2i)$,

$$B = \cos 2\alpha - \cos 2\beta - \cos(D + 2\alpha) + \cos(D + 2\beta).$$

If the principal plane AOC of the crystal bisects the angle between the refracting faces, we have $\alpha = \frac{i}{2}, \beta = \frac{\pi}{2} + \frac{i}{2}$,

whence from (8), putting $D + i = \Delta$,

$$\left(a^2 \sin^2 \frac{\Delta}{2} - a^2 \sin^2 \frac{i}{2} \right) \left(b^2 \cos^2 \frac{\Delta}{2} - a^2 \cos^2 \frac{i}{2} \right) = 0.$$

Mynd 10-1. Formúlur í kenningum um tvöfalt ljósbrot gátu orðið allflóknar. Í sumum greinum í vísindatímaritum 19. aldar leggja þær undir sig margar blaðsíður, jafnvel tugi (t.d. í doktorsritgerðum). Efst eru formúlur úr Neumann (1835), að neðan t.v. úr Cauchy (1839a) og Billet (1859), að neðan t.h. úr Stokes (1846).

skilyrðin gerðu það óhjákvæmilegt að jafnframt spryttu upp langsum-bylgjur. Þessu var reynt að bjarga með því að láta ljósvakann hafa mjög skrítna eiginleika, svo sem þann að hraði langsum-bylgja í honum væri óendanlegur.

Í fyrstu lausn Cauchys um 1830 á útbreiðslu ljósbylgju (t.d. Cauchy 1831; sjá yfirlit í Grailich 1856, bls. 74-75) var reiknað með að hreyfing ljósvakaagnanna færi fram í skautunarplaninu, en ekki hornrétt á það eins og Fresnel hafði gefið sér. F.E. Neumann (1832a) kom stuttu síðar fram á sjónarsviðið með mjög umfangsmikla ritgerð þar sem hann komst að sömu niðurstöðum og Cauchy. Í kenningu Neumanns er það grundvallaratriði, að fjaðurstuðull ljósvakans er háður því í hvaða efni hann er, en þéttleiki ljósvakans er allstaðar hinn sami. Neumann (1832b) birti síðan almennar kenningar um útbreiðslu ljósvakabylgjunnar í einása efnum eins og silfurbergi. Cauchy (1836) fann hinsvegar aðra lausn þar sem hreyfing ljósvakans er hornrétt á skautunarplanið, og taldi þá lausn raunhæfari en þá fyrstu. Cauchy (1839a), Plücker (1839) og fleiri lögðu einnig fram nýjar hugmyndir um þau mál.

10.3 Ljósvaka-vandamálið í Bretlandi, einkum kenningar, 1820-40

Um 1820 fór rannsóknum í raunvísindum í Bretaveldi (þar með Írlandi) að vaxa fiskur um hrygg, ekki síst fyrir áhrif frá þróun stærð- og eðlisfræðinnar í Frakklandi (Timoshenko 1953, bls. 222). Áhersla var einkum á kennilega þáttinn, og ekki fór hjá því að Bretarnir létu sig ljósfræðina varða. Meðal annars kynntu MacCullagh (1831), Powell (1835) og Smith (1839) rannsóknir Cauchys og Fresnels á þessu sviði. Sylvester (1837), Kelland (1838) og MacCullagh (1836, 1837) rituðu um útbreiðslu ljóss í kristölluðum efnum og hegðun við skilfleti, út frá svipuðum forsendum og Neumann. Green (1842a) sýndi fram á að seinni lausn Cauchys lenti í vandræðum á skilflötum milli tveggja efna. Green stakk þá upp á því að ljósvakinn hefði vissa eiginleika hlaupkennds efnis, en það þótti samt hallærisleg leið. MacCullagh birti að auki fræðilegar greinar um endurkast ljóss frá málmyfirborðum á árunum 1836-44; Brewster (1830) og Neumann (1832b) höfðu áður komið þar við sögu, og Cauchy (sjá kafla 17.1) var líka að rannsaka þau mál um 1840.

MacCullagh (1839) gerði tillögu um nýja tegund ljósvaka, þar sem orka var fólgin í hvirflum en ekki í samþjöppun og tognun eins og í venjulegum fjaðrandi efnum. Afleiðingum þessarar kenningar MacCullaghs bar ágætlega saman við það sem vitað var um hegðun ljóssins í efnum, en henni var lítil gaumur gefinn í fjörutíu ár. Miklar deilur urðu um það á þessum fjórum áratugum hvort sveifla ljósvaka-agnanna væri í skautunarplaninu eða þvert á það. Birtust margir tugir greina um fræðilega hlið þess máls, og hvort upphugsa mætti tilraunir til að skera úr um hvort sjónarmiðið væri rétt. Um sögu þessara ljósvaka-vandamála hefur mikið verið ritað síðar: aðgengilegar yfirlitsgreinar eru t.d. eftir Thomson (1887-88), og Glazebrook (1885, 1903).

Hvað varðaði útleiðslu jafna um hljóðbylgjur í efnum, taldi Green (1842b) að nota þyrfti þar 21 fjaðurstuðul í ósamhverfustu kristöllum og tvo í efnum eins og gleri. Navier og Cauchy höfðu viljað láta 15 stuðla duga í fyrrnefnda tilfellinu, og margir töldu einn nægja í því síðara. Úr þessum skoðanamun varð langvarandi deila, sem jók áhuga á ýmsum tilraunum á sviði fjaður-fræða (Timoshenko 1953). Sjá m.a. um G. Wertheim í 15. kafla.

Airy (1833c, *Mynd 10-2A*) birti merka ritgerð um samspil tvöfalda ljósbrots og optiskrar virkni í kvarsí. MacCullagh gerði ítarlega kennilega úttekt á því máli upp úr 1835, og voru niðurstöður hans staðfestar með tilraunum J. Jamins um 1850 (Verdet-Exner 1887).



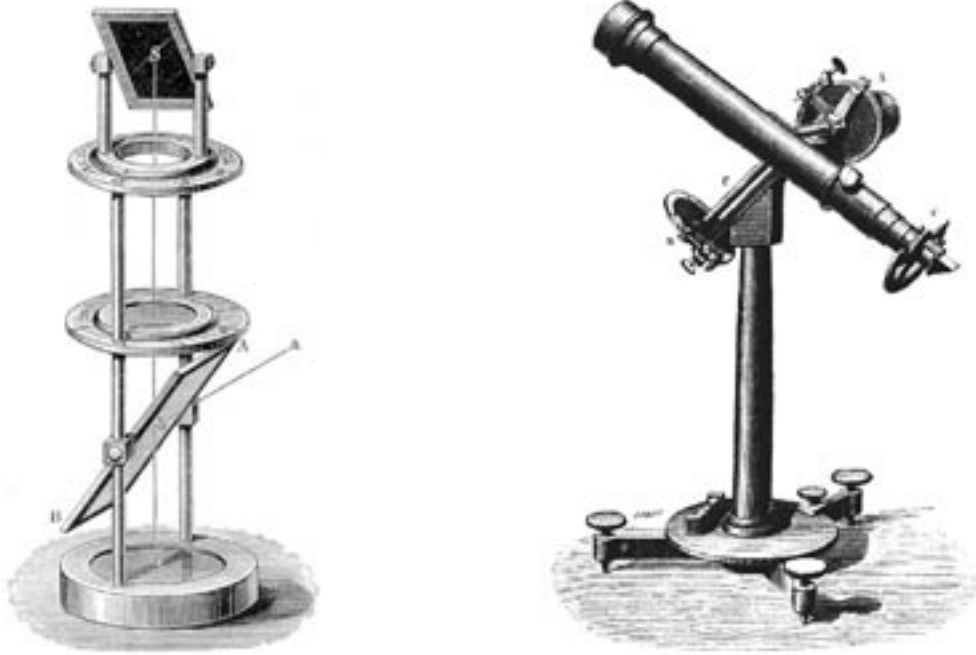
Mynd 10-2A. Tveir vísindamenn sem gerðu merkar rannsóknir varðandi skautað ljós upp úr 1830, en voru þó þekktari fyrir störf sín á öðrum sviðum. T.v.: G.B. Airy (1801-1892) stjörnufræðingur. T.h.: A.L. Cauchy (1789-1857), stærðfræðingur.

10.4 Tilraunir 1830-40

Á tilrauna-sviðinu gerðist meðal annars tvennt í Bretlandi sem styrkti trú á niðurstöðum Fresnels um útbreiðslu ljóssins. Annars vegar kannaði Airy (1833b) skautun Newtons-hringja (sem sjást þegar lýst er gegnum glæran hlut sem rétt snertir annan) við tiltekin skilyrði, og kom hún heim við kenningar Fresnels. Hins vegar benti W.R. Hamilton (sem lagði margt mikilvægt til þróunar ljósfræðinnar og annarra greina eðlisfræði) á mjög sérstæða afleiðingu af kenningum hans: það er svonefnt keilu-ljósbrott í tvíása efnum, sem á sér stað þegar ljósbylgja stefnir á skurðpunkt tveggja bylgjufirborða (L í *Mynd 8-1A*). H. Lloyd (1833) sýndi strax fram á þetta ljósbrott með tilraunum sem vöktu mikla athygli. Menn voru þó vel meðvitaðir um galla kenninga Fresnels (Lloyd 1834).

A. Seebeck (1831, 1836) og F. E. Neumann (1837) í Þýskalandi gerðu mælingar á endurkasti ljóss frá náttúrulegum og slípuðum flötum kalkspats, og bar þeim einnig saman við kenningarnar. Liebisch (1891, bls. 440) segir að „Die sorgfältigen Beobachtungen von A. Seebeck über die vollständige Polarisation des Lichtes durch Reflexion am Kalkspath“ hafi haft „eine hervorragende Bedeutung für die Kristalloptik“ þar eð þær gáfu beina prófun á kenningum Neumanns (1835) þar um. Rudberg (1829) prófaði kenningar Fresnels um tvíása efni með mælingum á ljósbrotti í prismum úr aragoniti og tópas, og stóðust þær.

Cheshire (1923) segir ofanefndan Airy hafa smíðað tæki með glerspeglum til athugana sinna á skautuðu ljósi um 1830. Hafi ýmsir gert eftirlíkingar af því og þá stundum með Nicol-prismum, en þáttur Airys í uppfinningunni hafi gleymst. Tæki Airys var líkt spegla-tæki J. Nörrenbergs (*Mynd 10-2B*) sem einnig var búið til um 1830, en J.T. Mayer (1812) var þó að líkindum fyrstur til að lýsa slíku tæki (sjá *Naturwissenschaften* 14, 511-512, 1926).



Mynd 10-2B. T.v.: Glerspegla-tæki til skautunar ljóss, sem er oft kennt við J. Nörrenberg en var fyrst lýst af J.T. Mayer (1812). Það var notað til kennslu í ljósfræðum, einfaldra prófana o.fl. Á snúanlega pallinn í miðjunni mátti til dæmis setja kristalþynnur og skoða þær í ljósinu frá neðri speglinum. Mynd úr Drude (1900a). T.h.: Tæki Wartmanns (1851) til að kanna varmageislun. Myndin er úr verðlista frá tækjasmiðnum J. Duboscq (1885).

10.5 Varmageislun o.fl. 1812-50

J.E. Bérard gerði tilraunir á eiginleikum varmageislunar sem stafaði frá heitum hlutum og eldsloga upp úr 1810 (Bérard 1812, o.fl.). Bentu niðurstöður hans meðal annars til þess að hægt væri að gera hana línulega skautaða á sama hátt og sýnilegt ljós. Bérard notaði einnig silfurbergsstrending til þess að sýna fram á að varmageislun frá sólinni geti orðið skautuð, t.d. við endurkast. Aðferðir hans mættu tortryggni sumra (t.d. Berthollet o.fl. 1813, Powell 1830-31). Segir Barr (1962) að A. M. Ampère hafi fyrstur vísindamanna sannfærst um það kringum 1832, að varmi væru ljósbylgjur sem mannsaugað hefði ekki næmi fyrir, sjá t.d. Ampère (1835). Síðan gerði M. Melloni (m.a. 1836, 1837) umfangsmiklar mælingar á varmageislun á árunum þar á eftir, sjá Barr (1962). Notaði Melloni mjög næman rafrænan hitamæli til að sýna fram á, að varmageislunin hafði sömu eiginleika og sýnilegt ljós til dæmis hvað varðaði endurkast, brotnun geisla í efnum, skautun, og snúning skautunarplans í kvarsí (Biot og Melloni 1836). J. D. Forbes (t.d. 1836) fékk samskonar niðurstöður. Melloni og Forbes munu að mestu hafa notað turmalín og hallandi gler- eða glimmer-plötur við tilraunir sínar.

Fyrstu athuganir á skautun útfjólublás ljóss sem ég hef séð, voru gerðar af Sutherland (1841). Hann notaði silfurbergsstrendinga og hallandi glimmer-þynnur. Melloni (1842) ítrekaði að eini munurinn á innrauðri, sýnilegri og útfjólublárrí geislun væri í bylgjulengd þeirra. Enn síðar gerðu Fizeau og Foucault (1847), Knoblauch (1848, 1852), og Provostaye og Desains (1849) margháttáðar rannsóknir á skautun innrauðrar geislunar, að hluta með silfurbergs-strendingum og Nicol-prismum, og staðfestu að hún hegðaði sér eins og ljós. Wartmann (1851) útbjó eins konar kíkí með mjög stóru Nicol-prisma (7,5 cm á lengd) og næmum hitamæli til að gefa til

kynna skautun varmageislunar frá himninum (*Mynd 10-2B*), og reyndist hún vera hin sama og venjulega ljóssins.

10.6 Ljóstvístur

Bylgjukenningin átti lengi í basli við að útskýra breytingu brotstuðuls með bylgjulengd, jafnvel í einföldum efnum eins og vatni eða gleri. Rudberg (1831) gerði umfangsmiklar mælingar á þessum eiginleika fyrir silfurberg o.fl. kristalla. Á næstu tíu árum eða svo birtu A. Cauchy, B. Powell o.fl. ófáar kennilegar ritsmíðar um þessi mál, þar sem m.a. var samtímis reynt að skýra tvöfalt ljósbrot og ljóstvístur (sjá 21. kafla í Verdet-Exner 1887).

11 Vísbendingar um misátta eiginleika 1820-35

Ýmsum eiginleikum efna (t.d. eðlismassa) má lýsa einfaldlega með einni tölu og tilheyrandi einingum. Margir aðrir eðliseiginleikar efna tengjast hinsvegar vektorstærðum, sem hafa stefnu. Það sjónarmið að slíkir eiginleikar geti verið breytilegir eftir stefnu innan kristals, mun hafa fyrst komið fram hjá C.S. Weiss (1804), sjá einnig grein Youngs (1809). Þessi stefnuháði breytileiki eiginleika, sem nú er nefndur misátta hegðun (anisotropy), er afar mikilvægur í allri umfjöllun um kristalla.

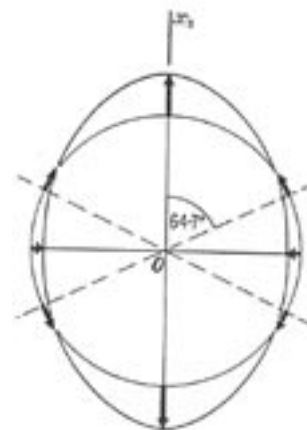
Sumarið 1823 var fyrrnefndur E. Mitscherlich við rannsóknastörf hjá hinum þekktu efnafræðingi J.J. Berzelius. Meðal annars mældi hann hornið milli hliða kristalls af íslensku silfurbergi tvívegis sama daginn (sjá minningargrein eftir G. Rose 1864), en í millitíðinni hafði sól skinið inn í herbergi hans og kristallinn hitnað. Reyndist hornið hafa breytst, ekki mikið en óumdeilanlega því að tæki Mitscherlichs var gott og hinar sléttu hliðar silfurbergsins vel til nákvæmnismælinga fallnar. Þetta var algerlega óvænt. Mitscherlich fór því að mæla hornið milli flata í strendingum silfurbergs og nokkurra annarra kristalla við mörg hitastig. Reyndist silfurbergið m.a. þenjast út í stefnu ljósássins við upphitun en dragast lítillega saman í stefnurnar þvert á hann, svo hornið breyttist um tæplega eina bogamínútu á hverjar 10°C (*Mynd 11-1A*). Vöktu niðurstöðurnar (Mitscherlich 1825) mikla athygli; varmaþensla efna hafði að sjálfsögðu verið mæld áður, en alltaf með því að hita upp aflangar stangir, og enginn hafði hugað að því að stefna skipti þar máli eða að hlutirnir breyttu lögum sinni. Kepptust menn síðan við að kanna fleiri efni að þessu leyti.

Rudberg (1828, 1831) o.fl. mældu þenslu silfurbergs og annarra kristallaðra efna með meiri nákvæmni og yfir breiðara hitabil, og reyndu að tengja hitabreytingar á brotstuðlum við hana. Samsvarandi mælingar á efnunum með tvo ljósása (eins og gipsi), gáfu flóknar niðurstöður varðandi stefnu t.d. „varmaþensluáss“ miðað við ljósásana og kristalásana (t.d. Neumann 1833). Neumann (1834) var einnig byrjaður að skoða hvernig fjaðureiginleikar kristalla væru háðir stefnu, en fyrstu kenningar hans um það reyndust síðar vera ófullkomnar.

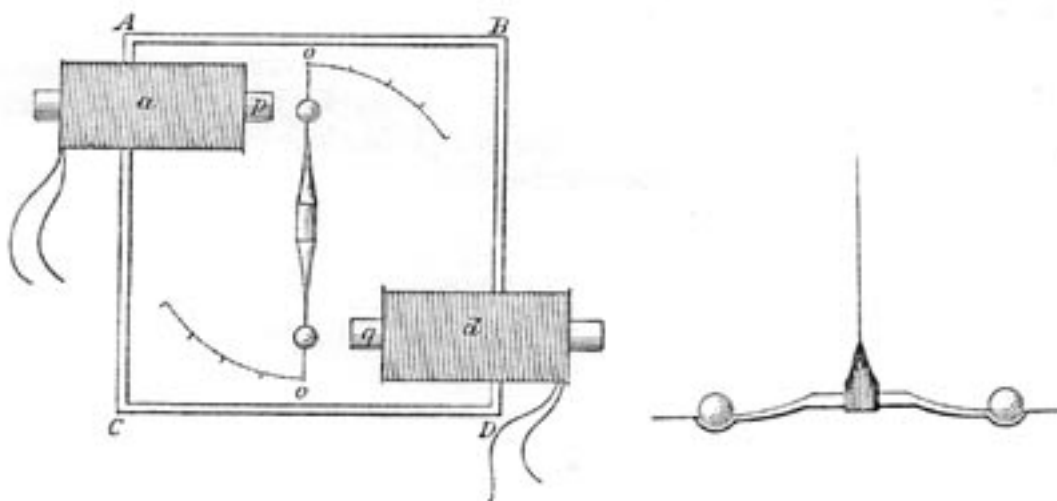
Í kafla 7.3 var sagt frá því að D. Brewster (1816a) og fleiri hafi kannað hvernig þrýstikraftar valda tvöföldu ljósbroti í efnunum eins og gleri eða hlaupi sem annars væru einsátta. F.E. Neumann birti mikla kennilega ritgerð (Neumann 1843) þar sem þetta fyrirbrigði er útskýrt mun ítarlegar en fyrr, sem og þær þrýstispennur sem koma fram í efni ef það er hitað meira á einum stað en öðrum. Neumann prófaði kenningarnar í nokkrum einföldum tilvikum á glerlíkönum, m.a.

Ich habe dann den Kalkspath auf die oben erwähnte Weise in heißem Quecksilber gemessen.

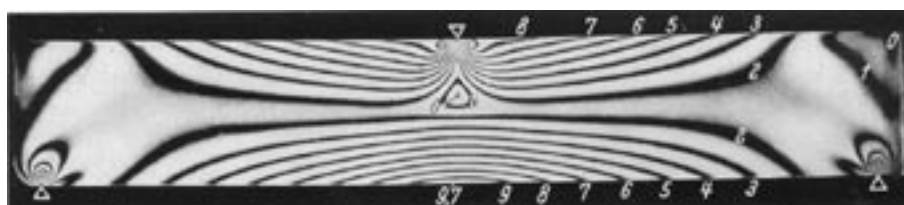
T.	8° R.	105° 3' 59½"				
72	=	104 57 23½	also für	64°	eine Veränderung von	0° 6' 36"
82	=	56 32½	— —	74	— —	— " 7 27
127	=	52 0	— —	119	— —	— " 11 59½
131	=	51 25	— —	123	— —	— " 12 34½
			— — 380°		— —	— " 38' 37"
			— — 80°		— —	— " 8' 8"



Der spitze Winkel gab ein vollkommen hiermit übereinstimmendes Resultat.



Mynd 11-1A. Tilraunir varðandi misátta hegðun silfurbergs. Efst t.v.: Tölur Mitscherlichs (1825) úr mælingum á hornum strendings. T.h.: Ef við teiknum hring á flöt sem inniheldur ljósás silfurbergskristalls (x_3), og hitum kristallinn svo upp, breytist hringurinn í ellipsu. Myndin (úr J.F. Nye: Physical Properties of Crystals, 1957) er mjög ýkt. Neðar: Í tilraun Tyndalls (1851) ýtti skaut seguls silfurbergskúlu frá sér með um 10% meiri krafti ef ljósásinn var samsíða sviðinu en ef hann var hornrétt á. Vinstra megin er horft ofan á tækin, hægra megin sést upphenging kúlanna frá hlið. Úr Liebisch (1891).



Mynd 11-1B. Neumann (1843) fylgdi eftir þeirri uppgötvun Seebecks (1814) og Brewsters (1816a) að gler yrði misátta og sýndi því tvöfalt ljósbrot ef í því væru spennur. Upp úr 1850 gerðu svo G. Wertheim og J.C. Maxwell frekari rannsóknir á því sviði. Á þessari mynd úr nýlegra verki (Föppl og Mönch 1959) sést ljósvíxla-mynstur í glerstöng undir beygju-álagi, skoðað með skautuðu ljósi.

með hjálp kalkspatprisma. Svo dæmi sé tekið, sést í glerstöng með rétthyrndu þversniði sem svignar undan fargi, í skautuðu einlitu ljósi reglubundið mynstur dökkra og ljósra randa sem endurspeglar á tiltekinn hátt spennuástandið í efninu (*Mynd 11-1B*). Ef við skiljum eðlisfræði venslanna þarna á milli, erum við komin með einfalda en öfluga aðferð til rannsókna á aflögun hluta undan kröftum, og þar með á burðarþoli hlutanna. Timoshenko (1953, bls. 249) segir um þessa grein Neumanns: “The most important contributions made by Neumann to the theory of elasticity are included in his great memoir dealing with double refraction“.

Frankenheim (1829) rannsakaði ítarlega hörku kristalla, og komst að því að hún var yfirleitt breytileg eftir stefnu. Savart (1829) skoðaði eiginsveiflur kringlóttra platna sem búnar voru til úr kristöllum (mest kvarsi, einnig kalkspati o. fl.), og dró þá ályktun m.a. að fjaðurstuðull kalkspats væri annar í stefnuna eftir ljósásnum en hornrétt á. Þetta, ásamt fyrri niðurstöðum Brewsters o.fl. um tvöfalt ljósbrot í föstum efnum undir fargi, voru meðal fyrstu vísbendinga um misátta hegðun.

Duhamel (1832) birti fræðilega grein um varmaleiðni í kristöllum, þar sem hann mun hafa séð það fyrir að hún hlyti að vera stefnuháð. Fáir virðast hafa veitt þeirri grein athygli þá, og málið lá í láginni fram undir 1850, sjá kafla 15.2. Eftir á að hyggja er ekki óeðlilegt að eðliseiginleikar kristalla séu misátta, úr því að kleyfni þeirra (eða samloðun) er mjög mismunandi eftir stefnum. Sjá athugasemd hjá Tyndall (1855, bls. 5 neðanmáls).



12 Ýmislegt um tæki, 1820-40

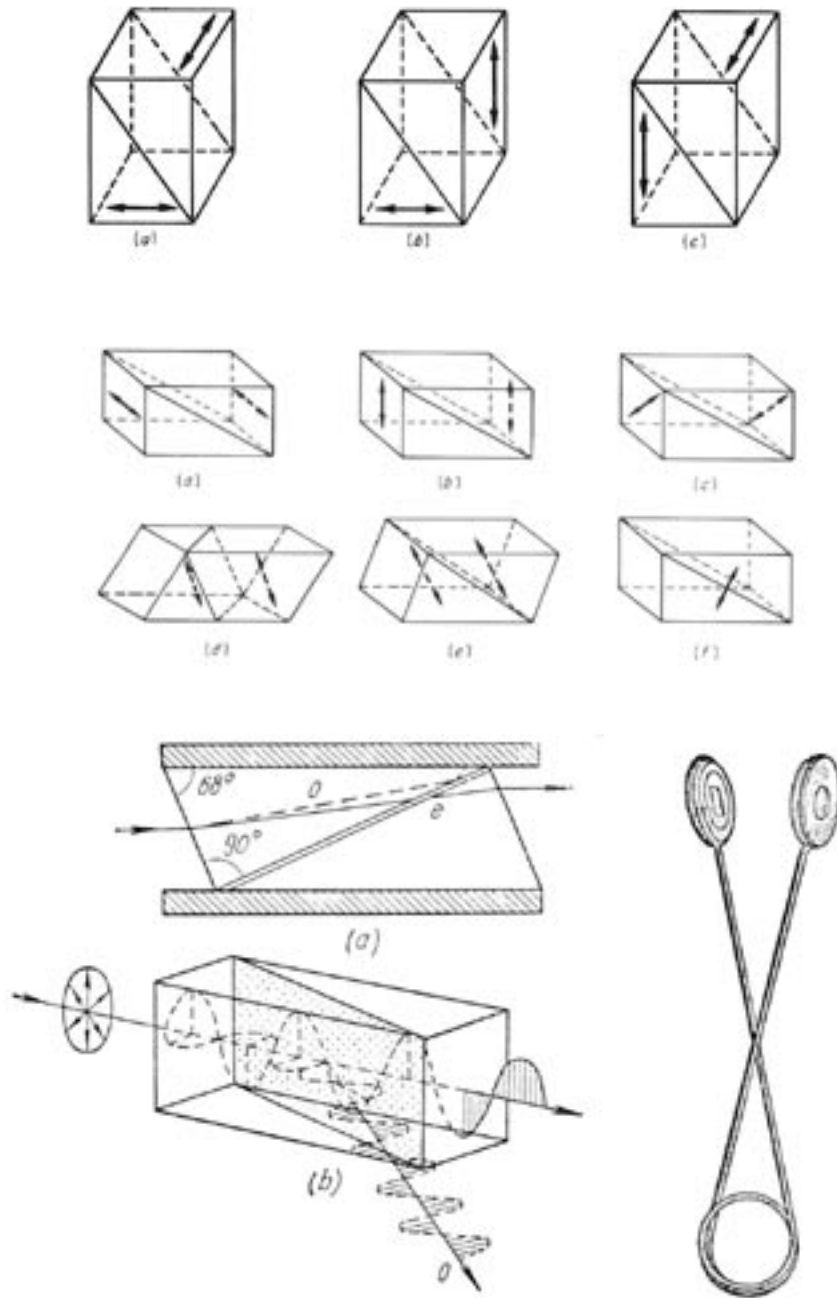
12.1 Tveggja geisla prisma

Wollaston (1820) bjó til öflugri útfærslu Rochon-prismans úr kvarsi, en vegna ljósvífturs (dispersion) er Wollaston-prismað þó óhagstæðara í notkun að sumu leyti. Í þessum prisma eru tveir fleygar úr tvíbrjótandi efni sem snúa í mismunandi stefnur miðað við optiska ásinn, límdir saman (*Mynd 12-1*). Stefnunur geislanna sem koma úr Wollaston-prisma getur verið 15-20° ef silfurberg er notað (Wright 1919a), en er innan við 1° með kvarsi. Líklega voru það Rochon-prisma úr kvarsi sem Arago (1847) mældi þvermál reikistjarnanna með. Prismu af þessum gerðum koma öðru hverju við sögu hér á eftir, og eru enn framleidd til nota í margskyns ljóstækjum.

12.2 Nicol-prismað 1829: afgerandi nýjung í mælitækni

Eins og fram hefur komið, verður venjulegur ljósgeisli að tveim línulega skautuðum geislum á leið sinni gegnum silfurberg. Við rannsóknir á skautun ljóss er oft ekki þörf á að skoða þá samtímis og það getur truflað athugandann að hafa þá báða í sjónsviðinu í einu. Rochon- og Wollaston- prismun leystu þetta að nokkru leyti með því að senda annan geislann á ská til hliðar, og í einföldum silfurbergs-strendingum mátti gera hluta af yfirborðinu næst auganu matt og láta hann lenda þar. W. Nicol í Edinborg varð ljóst að best væri þó að losna alveg við annan geislann. Hann gerði það með því að saga aflangan íslenskan silfurbergskristall í sundur eftir hornalínu (*Mynd 12-1*) og líma saman aftur með trjákvöðu. Brotstuðull hennar var valinn þannig, að „óvenjulegi“ geislinn slapp í gegn en sá „venjulegi“ endurvarpaðist til hliðar frá kvöðunni með svonefndu „algeru endurvarpi“. Mátti þá koma honum fyrir kattarnef með því að sverta ytra borð prismans. Til að skoða ljósgeisla með þeirri skautunarstefnu sem prismað eyðir, er því snúið 90° eða samsvarandi ráðstafanir gerðar við uppsprettu geislans. Nicol (1829) birti um þetta smáklausu, og hefur svo stutt og yfirlætislaus vísindagrein sjaldan haft jafnmikil áhrif. Oftast voru Nicol-prisma notuð tvö og tvö saman, skautari og greinir (og mátti það síðarnefnda stundum vera minna en hitt) eins og dæmi sjást um á myndum hér á eftir.

Gerð prisma úr silfurbergi er vandasamt verk, því velja þarf kristalla sem eru tiltölulega gallalausir, og ýmiskonar gallar voru jafnvel algengir í besta efni frá Íslandi (sjá Goldschmidt 1907, Hughes 1937). Efnið er fremur lint, en springur og klofnar jafnframt auðveldlega eftir meginstefnunum þrem. Í stað þess að saga kristallana, var iðulega hagstæðara að slípa þá niður,



Mynd 12-1. Efst: Skematiskar myndir af þrem algengum prismum úr silfurbergi eða kvasi, til að skipta ljósgeisla (sem kemur lárétt frá vinstri) í tvo línulega skautaða geisla. Ljósásar eru sýndir með örvum (punktum ef þeir eru hornrétt á blaðið). (a) er Rochon-prisma, (b) er Senarmont-prisma, (c) er Wollaston-prisma. Úr Bennett og Bennett (1978).

Í miðið: Skematiskar myndir af sex algengum gerðum samlímdra Nicol-prisma úr silfurbergi. Ljósásarnir eru sýndir með örvum. (a-c) eru af Glan-gerð, þ.e. Glan-Thompson (eða Glazebrook), Lippich, og Frank-Ritter prisma. (d-f) eru af Nicol-gerð, þ.e. upphaflegt Nicol, Halle, og Hartnack-Prazmowsky prisma. Ýmis afbrigði eru síðan til af þessum, m.a. með loftbili í stað líms. Úr Bennett og Bennett (1978).

Neðst t.v.: (a) Ljósgeisli fellur á upprunalega gerð Nicol-prisma frá vinstri. Prismað skiptir honum í tvo geisla o og e, hvorn með sína línulegu skautun. o-geislinn speglast til hliðar frá trjákvöðu og er úr sögunni, en e-geislinn heldur áfram. (b) Nánar um ljóssveiflurnar, hér hefur prismanu verið snúið 90° um stefnu ljósgeisla. Úr Flint (1971). T.h.: Turmalin-tengur, einfalt tæki til að skoða tvöfalt ljósbrot (úr Wood 1977).

Þótt við það færi talsvert efni forgörðum. Harka kristallanna var háð stefnu, og á sumum flötum þurfti lítið til að flísar losnuðu úr við slípunina (Halle 1921). Nákvæm stilling prismanna eftir sama ás var vandasöm (t.d. Glazebrook 1880b), og fara þurfti vel með þau við notkun: t.d. gat of mikið ljósmagn valdið upphitun límsins þannig að það skemmdist (sjá Laurent 1879; Sleeman 1884; Schulz 1925; Schumann og Piller 1950).

Fyrstur til að útbúa smásjá með Nicol-prismum var að líkindum H. Fox Talbot, síðar frumkvöðull í ljósmyndun. Lýsir hann (Talbot 1834) nokkrum athugunum með henni, og var hugmyndin þróuð eitthvað áfram í Bretlandi (sjá aths. í heimildaskrá) en fékk ekki almenna útbreiðslu fyrr en áratugum síðar.

12.3 Aðrar aðferðir til að framleiða og greina skautað ljós

Tvær frekari aðferðir til að framleiða og greina skautað ljós komu til álita á þessum árum. Önnur byggði á því fyrirbrigði sem þegar var nefnt, að ljós endurkastað frá glerfleti undir Brewster-horni er línulega skautað. Þessi aðferð sem oft er kennd við J. Nörrenberg, hefur alla tíð verið notuð lítillaga (*Mynd 10-2B, Mynd 13-1A*) einkum þar sem þörf var á víðu sjónsviði (t.d. Dove 1860; sjá einnig síðar). Á henni eru þó tæknilegir hnökrar, m.a. sá að aðeins um 15% innfallandi óskautaðs ljóss nýtast, en um 40% í Nicol-prisma. Sömuleiðis er ljós sem farið hefur gegnum stafla af t.d. 10-15 þunnum hallandi glerplötum, nokkurnveginn línulega skautað. Sjá kafla 33.1.

Hin aðferðin byggði á svonefndu „dichroism“ sem nefnt var hér fyrr: kristölluð efni sem hafa tvöfalt ljósbrot, sleppa öðrum geislanum betur í gegnum sig en hinum. Í silfurbergi er þetta atriði lítilvægt, en af sumum efnum þarf aðeins 1-2 mm þynnu til þess að gleypa annan geislann að mestu. Vankantar eru þó á notkun svona þynna við rannsóknir, m.a. sá að gleypingin er breytileg eftir lit ljóssins. Steintegundin turmalin hefur mest komið til álita að þessu leyti allt frá um 1820, en það bagar þó að turmalin er stökkt efni (Barnard 1863) og mismikið litað (Rosenbusch 1885, bls. 109-111). Hefur aðferðin einkum verið notuð í einföld tæki, eins og svonefndar „turmalin-tangir“ (*Mynd 12-1*) til að skoða ljósbrotseiginleika kristalla m.a. af skrautsteinum.

12.4 Optísk virkni, framhald – Biot 1832-40

Hér þarf að byrja á skilgreiningu á orðinu „sykur“. Með því er í raun átt við mörg efni með svipaða eiginleika, og tók það fram yfir aldamótin 1900 að greiða að mestu úr málefnum þeirra. Sykurefni hafa mörg hver optíska virkni, sem er mjög mismunandi, og sitt á hvað til hægri og vinstri. Nýttist hún mjög vel til rannsókna á þessum efnum, ásamt öðrum aðferðum. Skipta má sykurefnum (saccharides) í ein-, tví-, og þrísykrunga, og að auki eru fjölsykrungar eins og sterkja sem finnast í korni, kartöflum og víðar. Einsykrungar er algengast að hafi keðju 5 kolefnisfrumeinda (pentósar) eða 6 (hexósar, $C_6H_{12}O_6$), sem síðan má skipta í aldó- og ketó- sykrunga. Af einsykrungum eru þekktastir aldóhexósarnir glúkósi (þrúgusykur) og galaktósi, og ketóhexósinn frúktósi (ávaxtasýkur); þann fyrstnefnda má vel telja mikilvægustu kolefnissameindina í öllu lífríkinu. Af tvísykrungum er súkrósi (strásýkur) með 12 kolefniseindir sá algengasti, og var í upphafi einkum unninn úr sykurreyr. Sykurreyrinn var mest ræktaður við Karibahafið, en vegna hafnbanns í Napóleons-styrjöldunum (til 1815) eflidist sykurrófnað í Frakklandi mjög. Fundist hafði jafnframt 1811, að með sýrum var hægt að að búa til glúkósa

úr sterkju. Kölluðu þessi atriði eflaust á aukna þekkingu á sykur- og sterkjuefnum, og komust menn m.a. að því að rófu- og reyrsykur var sama efnið.

J. B. Biot sem fyrr var nefndur, áttaði sig á mikilvægi optiskrar virkni sem mæliaðferðar við rannsóknir á uppleystum efnum. Eftir að hafa unnið á óskyldum sviðum á árunum 1820-32, benti hann enn á gagnsemi aðferðarinnar við athuganir á sykurrinnihaldi hverskyns jurtasafa (Biot 1833) og hóf að kanna áhrif sýra á sykur- og sterkjuefni (Biot og Persoz 1833). Á sum sykurefni í lausn hafa sýrur þau áhrif að skautunarplan ljóss fer að snúast til hægri í vökvanum í stað vinstri, eða öfugt, og innleiddi Biot (1835) um það hugtakið „inversion“ sem er enn notað. Með sýrum, eða við hitun yfir 120°C, myndast úr sterkju vatnsleysanlegt seigt efni sem Biot og Persoz nefndu „dextrine“ vegna þess að það sneri skautunarplani ljóss óvenju mikið til hægri: varð sú nafngift einnig varanleg. Dextrinið (sem er í raun blanda ýmissa efnasambanda) varð brátt hið gagnlegasta efni í m.a. bakstri, drykkjarvörum, sælgæti, og lími. Þessi aukna þekking á eðli sterkjuefna jók áhuga á frekari rannsóknum á eðli og hagnýtingu þeirra, og Payen og Persoz (1833, 1834) urðu þar fyrstir manna til að einangra lífhvata (ensím). Það efni sem þeir kölluðu „diastase“ (nú β -amylase) umbreytti sterkju á svipaðan hátt og upphitun eða sýrumeðhöndlun. Nánar um þessi mál í köflum 13.2 og 18.1; það tók fram yfir aldamótin 1900 að afla grundvallarskilnings á eðli sterkju og sykurefna, og ferla sem þau taka þátt í með sýrum (hydrolysis) og gerjun.

Biot (1817) hafði fundið með fremur ónákvæmu polariskopi, að hvert efni sýndi nokkurnveginn sömu virkni á hverja massaeiningu, hvort sem það var hreinn vökvi, uppleyst í óvirkum vökva eða jafnvel sem lofttegund. Þetta með lofttegundina var þó aðeins byggt á örstuttri tilraun hans á terpentínugufu í 30 m löngu röri, áður en það sprakk í loft upp, og mælingin var ekki endurtekin fyrr en af Gernez (1864). Biot (1835) skilgreindi því hugtakið „eðlis-snúningur“ (rotation spécifique) efnis. Með tilkomu betri mælitækja á næstu árum varð hinsvegar ljóst að þessi stærð var talsvert háð leysiefninu, magni virka efnisins í lausninni, og hitastigi. Eðlis-snúningurinn er þó enn mikið notað hugtak. Tengsl optiskrar virkni í kristalli við virkni sama efnasambands á bráðnu eða uppleystu formi hefur einnig reynst talsvert breytileg eftir efnum, sjá t.d. Landolt (1898) og Partington (1953).

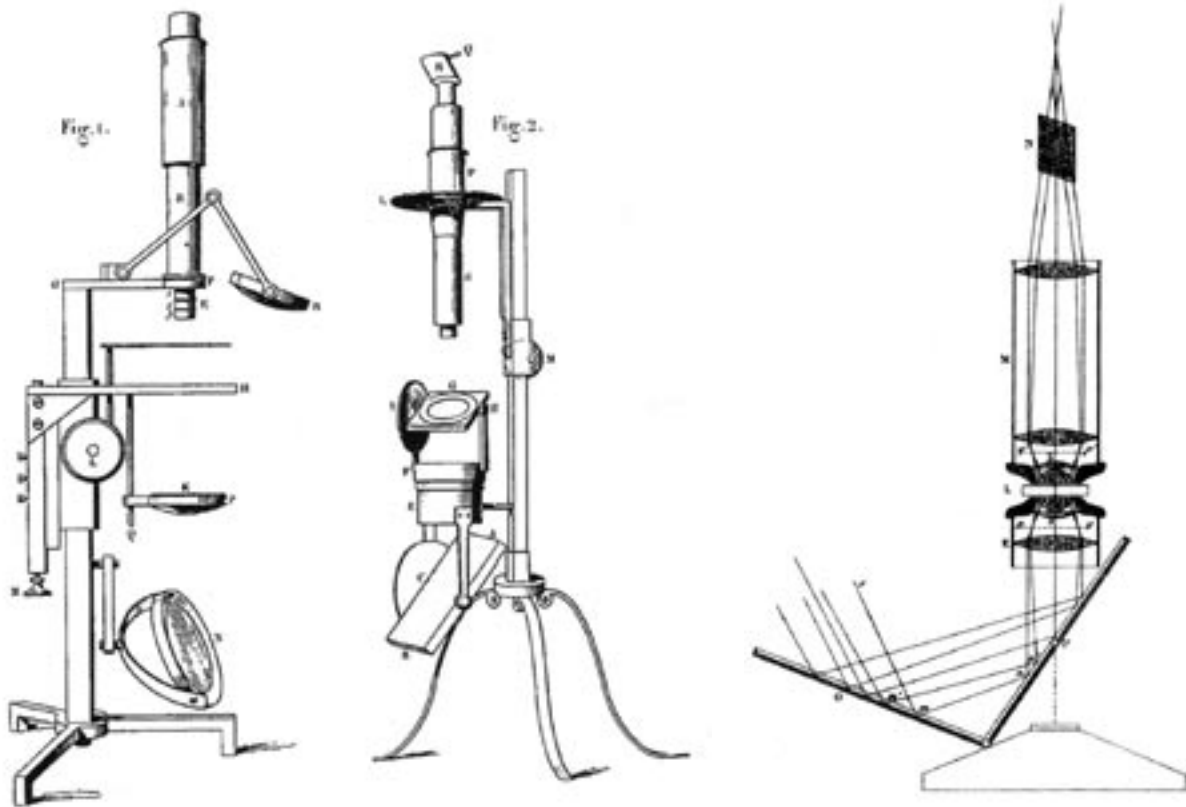
Biot hafði einnig snemma fundið, að optisk virkni bæði kvars og vökva var nokkurnveginn í öfugu hlutfalli við annað veldi bylgjulengdar ljóssins sem notað var. Ein undantekning var þó á þessu lögmáli, nefnilega vínsýra og ýmis sambönd hennar, og gerði Biot (1838) mjög rækilega könnun á eiginleikum þeirra. Þessi hegðun vínsýrunnar sem nefnd var „dispersion rotatoire anormale“, átti eftir að breyta ýmsu fyrir efnavísindin, sjá kafla 16.2 og síðar.

13 Endurbætur á Nicol-prismum; polarimetrar og mælingar með þeim frá 1840

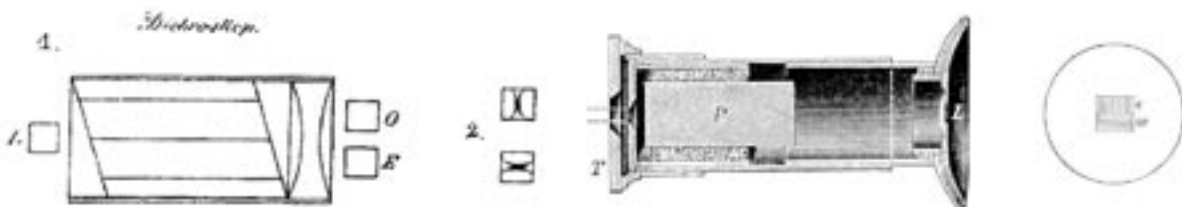
13.1 Inngangur

Ekki hefi ég kortlagt hvernig smíði og notkun Nicol-prismans breiddist út fyrstu árin eftir að Nicol fann það upp 1828-29. En til dæmis segir Dove (1835, bls. 607): “Der Mechanicus Hirschmann hieselbst, dessen Nicol’sche Prismen in den Händen vieler Naturforscher sind...“. Fljótlega kom í ljós, að prismað mátti bæta frá upphaflegri gerð, meðal annars til að víkka nýtilegt sjónsvið þess, minnka hliðrun geislans á leiðinni í gegn, og draga úr endurkasti ljóss við límið og á endaflötum. Nicol (1839) stakk sjálfur upp á lagfæringum, einnig Sang (1837, nánar 1891), Spassky (1838) og Radicke (1840). Sumum vísindamönnum eins og J. Jamin og A. Cornu (sjá Cornu 1867, bls. 365-6, einnig A. Becquerel 1849, Billet 1858-59, I, bls. 345, Kerr 1894 o.fl.) þótti hinsvegar betra að nota áfram silfurbergs-strendinga við ýmsar athuganir, og þá skyggja fyrir annan geislann ef þess þurfti.

Fyrir utan þá notkun Nicol-prisma í tilteknum tegundum tækja sem ég lýsi hér á eftir, voru þau notuð ein og sér við ýmsar tilraunir. Sem dæmi má nefna almenna spurningu varðandi mjóan geisla einlits ljóss: er sveifluhreyfingin í honum fullkomlega regluleg í langan tíma, eða er hann kannski samsettur úr stuttum ljósbylgju-, „stubbum“ sem ekki eru alveg í takt hver við annan? Þetta mátti skoða með því að skipta geisla í tvennt og seinka öðrum partinum áður en þeir voru svo sameinaðir til að framkalla kyrrstætt bylgjuvíxl-mynstur (interference pattern). Fizeau og Foucault (1845, *Mynd 13-2*) sendu sólarljós gegnum þynnur af silfurbergi og kvasi milli tveggja Nicol-prisma og síðan í litrófssjá (spektroskop). Með því að skoða tiltekna dökka línur í litrófinu mátti sýna fram á að ljósgeisli hélt góðum takti í a.m.k. sjö þúsund sveiflur. Stefan (1864a) beitti svipaðri aðferð, enda kvaðst hann ekki þekkja aðra betri, og tvöfaldaði þessi mörk. Mascart (1872, bls. 196) náði að sýna fram á bylgjuvíxl í ljósgeislum sem 105 þúsund bylgjulengda munur var á, „...malgré les épaisseurs énormes (36 centimètres) de cristal qu’il faut employer. Cela tient, je crois, à ce que le spath d’Islande est peut-être la substance transparente la plus homogène que l’on puisse se procurer...“, og hann segir að klofningsfletir þess séu einnig mun sléttari en slípað gler. Um aldamótin 1900 tókst að fá bylgjuvíxl milli ljósbylgna þótt tímamunur þeirra væri yfir 2 milljón sveiflur (sjá Winkelmann 1906, bls. 1135). Ástæður fyrir endanlegri lengd ljósbylgju-stubba skýrðust mjög með tilkomu skammtafræðanna upp úr 1900.



Mynd 13-1A. T.v.: Skautunarsmásjá (Fig. 1) og polarimeter (Fig. 2) Amicis (1844). Silfurbergsstrendingur er í R efst á Fig. 2. Þessi tæki eru með þeim fyrstu af báðum gerðum sem samtíma teikningar eru til af. T.h.: Skautunarsmásjá Nörrenbergs frá 1858 (úr Bertin 1863, sjá kafla 18.2). Þar er glerspegill P skautari, en Nicol-prismað N er greinir. L er sýni (plata úr kristalli). A. Des Cloizeaux notaði þessa tegund af smásjá.



Mynd 13-1B. T.v.: Þverskurðarteikning Haidingers (1845) af dichroskopi hans. T.h.: Teikning af dichroskopi frá verkstæði R. Fuess, úr Johannsen (1914). P er kalkspatkubbur, L er linsa. Sýni af óþekktum kristalli er borið að gati í plötunni T vinstra megin á tækinu, og horft í ljós. Þá sjást tvær myndir af gatinu, oft mismunandi á litinn. Dichroskop voru framleidd víða, og eru enn notuð t.d. við fljótlega greiningu eðalsteina.

Samkvæmt örstuttri klausu í Comptes Rendus 8, bls. 414 kynntu feðgarnir J.B. og H. Soleil tæki til að mæla hornið milli ljósása tvíása kristalla 1839, og tel ég líklegt að í því hafi verið Nicol-prismu. Sjá meira um framleiðslu slíkra tækja síðar. Bók Lima-de-Faria (1990) telur fyrstu smásjánni með skautuðu ljósi hafa verið lýst af Amici (1844, Fig. 1 í Mynd 13-1A); þar er glerspegill skautari en silfurbergsstrendingur er greinir. Brewster (1848a) benti á, að með skautuðu ljósi mátti draga úr truflandi glömpum í smásjám, og Brücke (1848) notar smásjá með tveim Nicol-prismum. Nánar um smásjár í kafla 18.2.

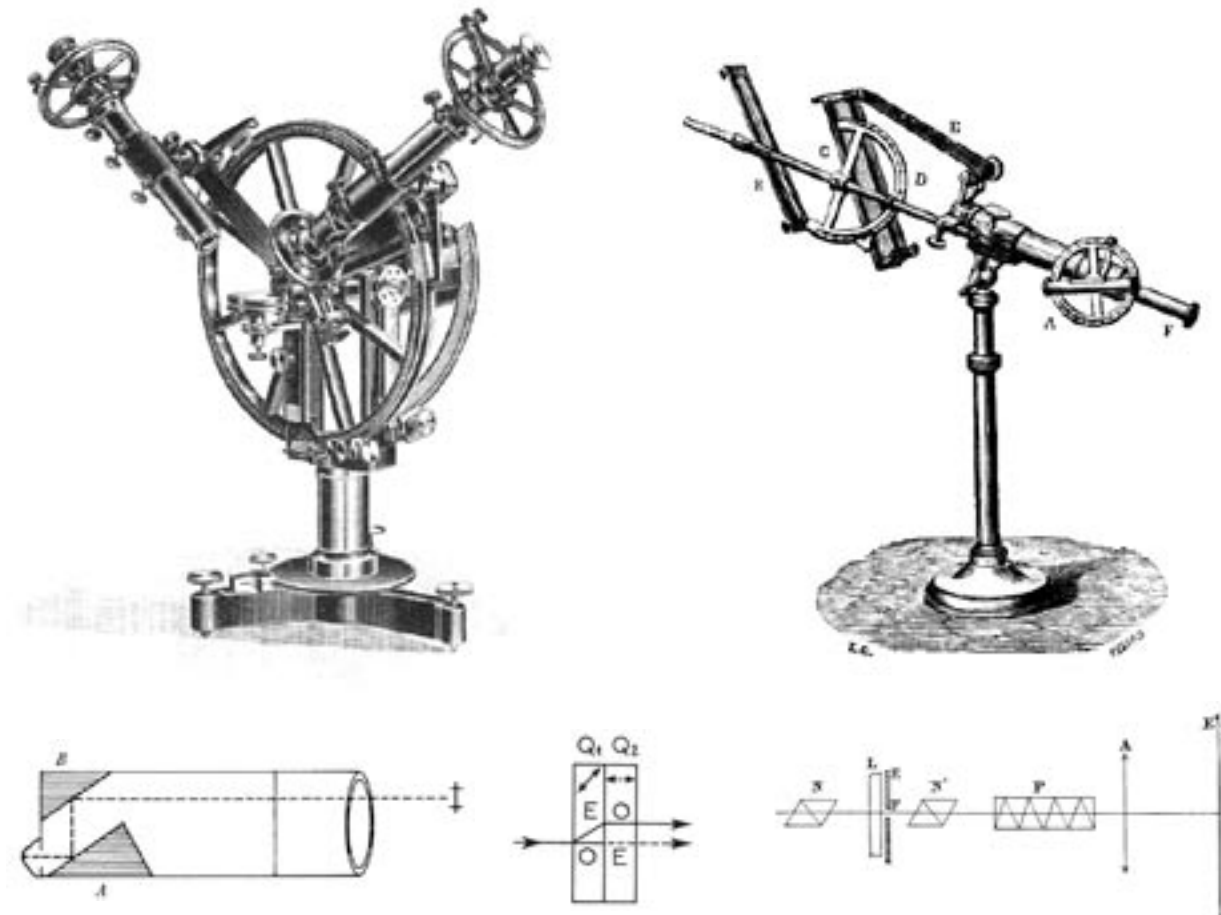
13.2 Polarimetrar o.fl. 1840-50

Þegar byrjað var að gera allnákvæmar mælingar á skautun ljóss með polariskopum, fengu þeir nafnið polarimetrar (einkum í Evrópu). Í kafla um J.B. Biot í Dictionary of Scientific Biography (1980-90) og fleiri heimildum er talið, að endurbætur hans á eldri gerðum polariskopa um 1840 megi kalla fyrsta polarimeterinn (t.d. Biot 1840a, *Mynd 13-3*). Varð þróun þeirra mæla hröð eftir að Nicol-prismu komu alveg í stað annarra skautunar- og greini-aðferða. Sjá rit um notkun polarimetra eftir Dove (1835), Babinet (1837), Biot (1840a, 1845a,b), Brewster (1841), Pereira (1846) og Duboscq og Soleil (1850, *Mynd 13-3*). Mælarnir höfðu þrennan mismunandi tilgang, og er oft ekki vel skýrt í umfjöllun um þau, hvaða tilgang eða tegund mælis er átt við. Einn tilgangurinn (A) var sá að mæla þann snúning skautunarplans sem varð í einhverju efni milli skautara og greinis, og vilja Wild (1870), Landolt (1898) o.fl. kalla þau polaristrobometer. Annar tilgangur (B) var sá að mæla ásahlutfall, stefnur og/eða fasaseinkun ellipsuskautaðs ljóss (sem kom utan að frá, eða sem varð til úr línulega skautuðu ljósi í tilraunuppsetningu á milli skautara og greinis). Zehnder (1908a) segir muninn á þessum tveim tækja-gerðum liggja nánast eingöngu í því að fasajafnara-búnaður sé í þeirri síðarnefndu. Þriðji tilgangurinn (C) var sá að finna og mæla skautað ljós sem var blandað óskautuðu ljósi. Samkvæmt Verdet-Exner (1887, kafla 486) var nýtt polariskop Aragos (*Mynd 13-2*), sem kynnt var í akademiunni 1841, af þeirri gerð, og Billet (1858-59, I, bls. 422) notar nafnið polarimeter eingöngu um hana.

Ventzke (1842,1843) endurbætti polarimeter Biots, og nefndi margháttaða notkunarmöguleika fyrir þessa mæla í sykuriðnaðinum. Hann sýnir mynd af tæki sínu sem í eru tvö Nicol-prismu. Fyrsta handhæga tækið fyrir tilgang (A) hér að ofan var sett saman af E. Mitscherlich, í tengslum við rannsóknir hans (Mitscherlich 1841, sjá D.S.B) á gerjun og meltingu. Líklega var það frekari endurbót á tæki Biots (sjá Landolt 1898), og mun vera lýst fyrst á prenti í 1844-útgáfu efnafræðikennslubókar Mitscherlichs. Öðrum ófullkomnari mæli er lýst af Amici (1844; Fig. 2 í *Mynd 13-1A*).

Biot (1840b) benti á, að með polarimetrum væri mjög fljótlegt og einfalt að mæla styrk sykurlausna. Þarna var því kjörið tæki til gæðaeftirlits fyrir alla sem framleiddu sykur, versluðu með hann, eða notuðu í hvers lags framleiðslu, sjá t.d. Soubeiran (1842). Brátt kom þó í ljós að í þeim vökvum sem unnið er með í margskonar rófusykur-iðnaði, eru jafnframt fleiri optiskt virk efni, og ruglar það túlkun niðurstaðna. Biot (t.d. 1843a) gerði því umfangsmiklar tilraunir þar sem hann mældi virkni vökvasýnis fyrir og eftir íblöndun ýmissa sýra. Það breytir eðlis-snúningi sykursins mikið og á þekktan hátt eins og fyrr sagði, en hefur lítil áhrif á hin efnin að því leyti. Clerget (1846, 1849) hélt áfram þessum tilraunum Biots og gaf að lokum upp nákvæmar forskriftir um alla meðhöndlun sýnanna til þess að traustar niðurstöður um sykurmagn í lausn fengjust með þessari aðferð. Sumar forskriftir Clergets voru notaðar fram yfir aldamót (Rolfe 1905, Saillard 1913) og með endurbótum fram yfir 1940 (Bates o.fl. 1942, bls. 126-132).

Dubrunfaut (1847) rökstuddi út frá polarimeter-mælingum að sérstök sykurgund sem hann kallaði malt-glúkósa og síðar maltósa, myndaðist úr sterkju við gerjun. Niðurstaða hans lá lengi í láginni en var staðfest m.a. af O'Sullivan (1874) sem einnig studdist mikið við mælingar á optiskri virkni. Reyndist þetta vera tvísykrungur (tveir glúkósa mínus vatn), og er hann uppistaðan í sterkju bæði úr jurtaríkinu og úr dýraríkinu (þ.e. glykogeni, kafla 18.1). Dubrunfaut (1849) fann enn fremur í ítarlegri rannsókn, að sú „inversion“ ljóssnúnings venjulegs sykurs í vatnslausn, sem nefnd var í kafla 12.4 og í síðustu málsgrein, gerist þegar sýra eða lífhvati (ensím) klýfur tvísykrunginn súkrósa í einsykrungana glúkósa og frúktósa. Þessi uppgötvun átti mjög mikinn þátt í bættum skilningi á eðli sykurefna á 19. öld; Dubrunfaut sjálfur sýndi t.d.



Mynd 13-2. Ýmis búnaður til rannsókna á ljósskautun. Að ofan t.v.: Tæki fundið upp af Jamin (1850a) með silfurbergsprismum og kvarsfleygum, til að kanna ellipsuskautun ljóss. Mynd úr verðlista Sociéte Genevoise frá 1900. T.h.: Mælitæki F. Aragos frá 1841 til að kanna skautun himin-ljóssins. Mynd úr verðlista J. Duboscq (1885). Að neðan t.v.: Meðal þeirra sem útbjuggu sér einfaldan glerspegla-búnað til athugana á skautuðu ljósi, var skólapiltur að nafni J.C. Maxwell 1848, og er myndin úr útgefnu bréfasafni hans. Í miðið: Plata Savarts (1840) er samsett úr sérsniðnum silfurbergs- eða kvarsþynnnum. Hún hefur verið notuð í margskonar mælitækjum til að greina skautunarástand ljóss. Litlu örvarnar tákna stefnu ljósáss. Mynd úr Françon (1963). T.h.: Fizeau og Foucault (1845, 1847) sýndu að bylgjuvíxl milli tveggja skautunarþátta ljóss úr kristalþynnunni L mynda litróf á skerminum E' eftir að hafa farið gegnum tvístursprisma P og linsu A. Þetta hagnýttu síðan margir í ljósfræðirannsóknum.

fram á með hjálp ljóssnúningismælinga og annarra aðferða, hvernig ferli af þessum toga ættu sér stað í hunangi og rúsínum. Nánar um rannsóknir hans í kafla 18.1.

Í sykursýki skilst út glúkósi í þvagi, og Biot (1840c, 1845a, 1848) stakk upp á að polarimetrar gætu nýst til fljótlegra mælinga við greiningu og meðferð sjúkdómsins. A. Bouchardat (1841) sem hafði verið að rannsaka sykursýki, gerði einnig slíkar mælingar með tæki Biots. Bouchardat (1842) staðfesti niðurstöður Biots um að albumin o.fl. prótein sem koma víða fyrir í lífverum, hefðu optiska virkni. Bouchardat (1844) fann að auki optiska virkni í ýmsum svokölluðum glúkósíðum, en til þeirra telst m.a. hita- og bólgustillandi efnið salicin. Bouchardat og Sandras (1845) sýndu fram á að diastasa-lífhvati (síðar nefndur α -amylasi) svipaður þeim sem fundist hafði í jurtaríkinu eins og kynnt var í kafla 12.4, er framleiddur í meltingarvegi dýra. Er líklegt að sú niðurstaða hafi að hluta byggst á mælingum með polarimeter. Pasteur (1851) fann að

tvær aminósýrur sem áður var vitað að fyndust í spegllum, hefðu optiska virkni, og kom brátt í ljós að þær voru einnig meðal þeirra virku efna í sykkurófum sem nefnd voru í næstsíðustu málsgrein.

Nánar um framþróunina í polarimetrum eftir 1850 er í kafla 18.1, meðal annars um það afbrigði sem notað var sérstaklega til sykkurmælinga (sakkarimeter). Ritgerð eftir Ward (1980) fjallar ítarlega um margt í sögu polarimetra á 19. öld.

Nú var einnig farið að rýna í margháttað ljósfyrirbrigði í umhverfinu með polarimetrum. Dagsljósið frá himninum, sem var verulega skautað en mismikið eftir því hvaðan það kom miðað við sól, var kannað t.d. af Arago eins og nefnt var hér að ofan, Babinet (1840), Brewster (1842) og Bernard (1854, 1856). Wheatstone (1848) útbjóg tæki með glerplötu, gifsþynnu og Nicol-prisma sem hann kallaði „polar clock“ og mátti nota til að finna stefnuna til sólar ef himinn var a.m.k. að hluta heiður en sólin sjálf sást ekki. Þetta tæki var síðar endurbætt af ýmsum og m.a. selt af Duboscq (1885). Hefur lengi staðið umræða um hvort „sólarsteinn“ sem nefndur er í norrænum fornritum og átti að hafa svipað hlutverk, hafi byggt á skautun ljóss, en ekki verður farið út í þau mál hér. Heilli öld eftir uppfinningu Wheatstones var samskonar tæki smíðað við staðlastofnun Bandaríkjanna til nota í flugvélum (Rev. Sci. Instr. 20, 1949, bls. 460).

Menn skoðuðu einnig með polarimetrum ljósið í norðurljósum, í regnboganum og aukasólum, frá halastjörnum og tunglinu, frá geimryki (zodiacal light), kórónu sólar við sólmyrkva, o.s.frv. Þær mælingar voru væntanlega einkum af tegund C hér að ofan. Mörg af þeim fyrirbrigðum reyndust flókin og ekki auðvelt að túlka þau þannig að stórframfarir yrðu strax í grundvallarskilningi. Ekki var heldur farið að greina litróf slíkrar geislunar til að tengja það við efnin sem gáfu hana frá sér, fyrr en 1860.

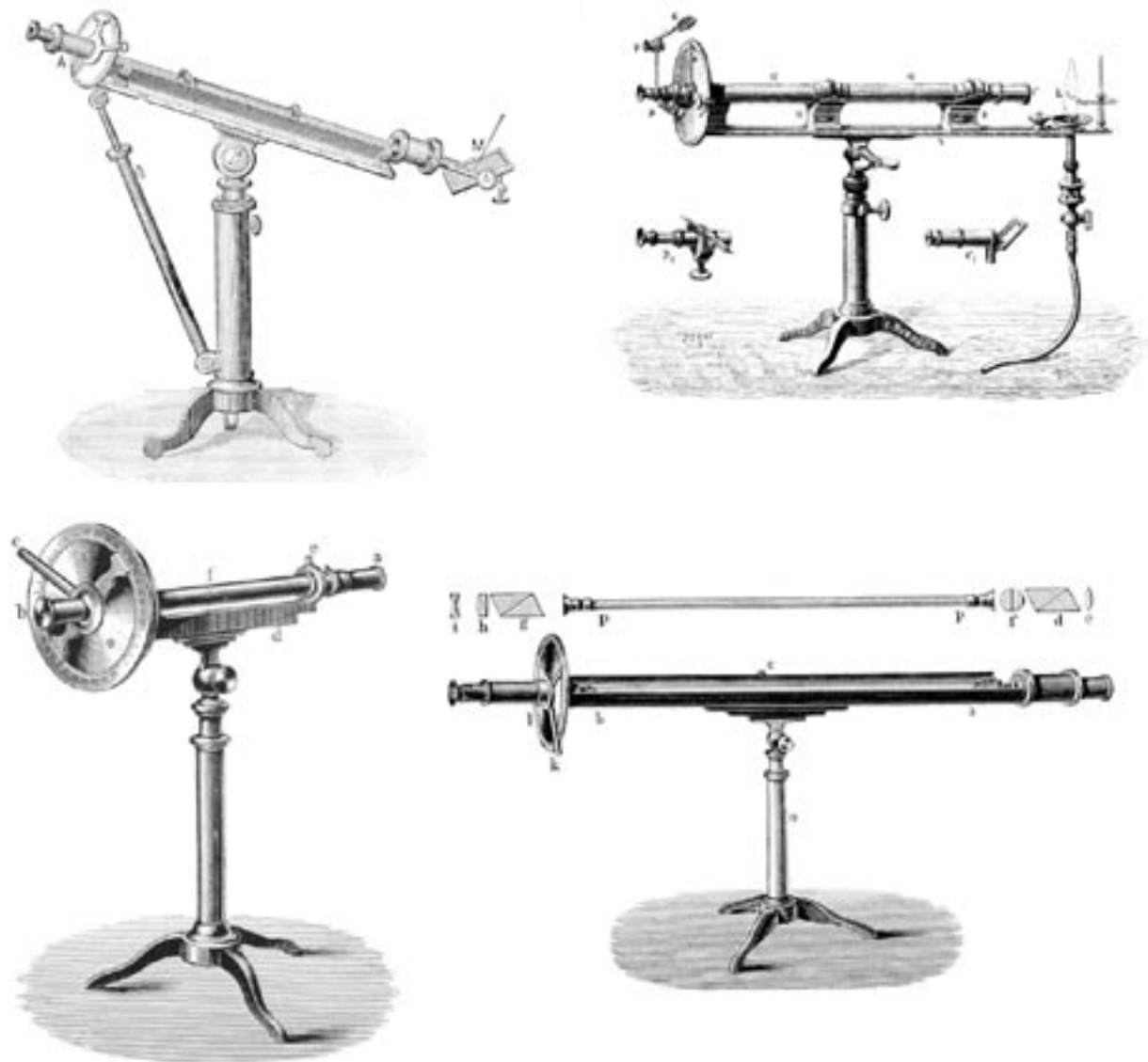
Skautunarástand ljóss sem speglaðist frá flötum allskyns efna var kannað rækilega (t.d. Senarmont 1840; Powell 1843; Jamin 1845, 1847, 1850a; Dove 1847b), samkvæmt aðferð B hér að ofan. Voru m.a. niðurstöður á málmum sagðar (Lloyd 1857, bls. 156; Partington 1953) koma þolanlega heim við kenningar Cauchys og Fresnels þar um. Nefna má, að tæki sem Jamin (1850a) smíðaði var síðan framleitt til sölu (*Mynd 13-2*) og notað í áráraðir til samskonar rannsókna, t.d. af Kent (1919).

Einnig var rannsakað með skautuðu ljósi hvernig mannsaugað skynjar ljós og liti (t.d. Dove 1847a, Foucault og Regnauld 1849, Maxwell 1856). Sérstaklega vöktu athygli svonefnd „knippi Haidingers“, ljósfyrirbrigði sem sjást (þ.e. verða til í auganu) í línulega skautuðu ljósi (Haidinger 1844 og síðar, Silbermann 1846, og margir aðrir). Fóru menn upp úr því að nota skautað ljós til að skoða ýmislegt fleira varðandi sjón og augu mannsins og annarra dýrategunda, og verður sagt frá sumu af því í kafla 29.7. D. Brewster hafði raunar byrjað á þess háttar rannsóknum löngu fyrr, sjá kafla 7.3.

13.3 Fjórðungsplata

Auk Nicol- prisma, sem höfðu þann megintilgang að breyta óskautuðu ljósi í línulega skautað, þróuðu vísindamenn allskonar þynnur og fleyga úr efnum með tvöfalt ljósbrot. Sum voru til hjálpar við greiningu skautunarástands ljóss, önnur voru til að breyta því ástandi, t.d. úr ellipsuskautuðu í línulega skautað. Sum voru úr silfurbergi, en önnur úr kvarsí, maríugleri (ljósum glimmer, muscovite mica), eða glæru gipsi (selenite).

Eitt einfaldasta tólið af þessum toga er svonefnd fjórðungsplata (quarter-wave plate), sem sögð er fundin upp af Airy (1833a) þótt t.d. Mason (1982) telji A. Fresnel eiga þar heiðurinn.



Mynd 13-3. Sumir af fyrstu kynslóð polarimetra í almennri notkun. Að ofan t.v.: Lausleg teikning úr Browne (1912) af polarimeter Biots (1840a) með glerspegli og einu silfurbergsprisma. T.h.: Polarimeter sem Soleil-verkstæðið hóf að smíða 1846 (mynd úr Duboscq-verðlista). Að neðan t.v.: Endurbót E. Mitscherlichs frá 1844 á mæli Biots, með tveim Nicol-prismum. Úr Landolt (1898). T.h.: Polarimeter Robiquets (1856) með tveim Nicol-prismum og tvöfaldri kvarsplötu f. Úr Landolt (1898).

Hún er oftast gerð úr kvasi eða úr glimmer (Senarmont 1840); silfurbergsplötur er of erfitt að búa til í hæfilegri þykkt. Ljósásinn liggur í plani plötunnar. Á leið gegnum hana seinkar öðrum skautunarþætti ljósgeisla um 90° miðað við hinn. Þetta er alveg eins og í glerprisma Fresnels (kaflí 8.1), og eru þau notuð sitt á hvað: fjórðungs-platan tekur miklu minna pláss í sjóntækjunum en glerprismað. Með því að snúa henni má breyta fasaseinkuninni, en ekki er þess alltaf þörf. Í plötunni er hinsvegar þessi seinkun mun háðari bylgjulengd (lit) ljóssins heldur en í glerprismanu, sem getur verið bagalegt.

13.4 Dichroskop

Svonefnd „dichroskop“ sem Haidinger (1844, 1845, *Mynd 13-1B*) mun hafa kynnt einna fyrstur, eru enn mikið notuð m.a. af steinasöfnurum við að bera kennsl á steindir og af skartgripasölum við að meta eðalsteina. Í þeim er borinn saman litur og ljósstyrkur tveggja ljósgeisla sem koma í gegnum viðkomandi steind og silfurbergsstrending. Mannsaugað á auðveldara með að meta slíkan mismun heldur en eiginleika eins geisla. Powell (1842) hafði stuttu áður komið svipuðum búnaði fyrir í polariskopi, og var það miklu einfaldara í notkun en upphaflegt polariskop Biots. Þessi samanburðar-aðferð varð síðar grundvöllur svonefndra „hálfskugga“-ljósmæla og polarimetra, sjá hér strax á eftir.

13.5 Fasajafnarar

Við ýmsar tilraunir á efnunum með ljósi breytist línulega skautað ljós í ellipsuskautað. Athugandinn hefur þá gjarna áhuga á að finna tvo eiginleika hins ellipsuskautaða ljóss: tímamun x - og y -sveiflanna (m.ö.o. svokallað fasahorn milli þeirra), og hlutfall útslaga í þeim. Þynnu-útbúnaður þar sem hægt var að breyta tímamuninum milli tveggja skautunarþátta ljóss samfelld um þekkt gildi yfir talsvert bil (allt upp í margar bylgjulengdir) og þannig breyta t.d. ellipsuskautuðu ljósi (*Mynd 7-2*) í línulega skautað, nefnast almennt „fasajafnarar“ (compensators). Þær þynnur eru oftast úr kvarsi, og hafa mikið verið notaðar ásamt Nicol-prismum við slíkar mælingar. Upp á fyrsta fasajafnararum stakk J. Babinet um eða fyrir 1840, en notkun hans var fyrst lýst af Jamin (1850a). Hann er úr tveim þunnum kvarsfleygum sem færðir eru hvor á móti öðrum (sjá *Mynd 22-1*) uns athugandinn getur slökkt alveg á ljósinu með snúningi greiniprismans. J.B. Soleil (1845) lýsti svipaðri tegund fasajafnara með viðbótar-kvarsplötu sem gerir aflestur þægilegri og nákvæmari en er vandasamara að smíða. Hann en er enn framleiddur. Hliðstæður búnaður er notaður í skautunarsmásjám og var einnig í upphaflegum gerðum af polarimetrum sem mæla snúning skautunarplans. Kemur m.a. fram í grein Clergets (1846) um kvörðun á snúningshorni sykurlausna, að hann hafi notað nýjan polarimeter Soleils.

Robiquet (1856, sjá *Mynd 13-3*) jók mjög nákvæmni aflesturs polarimeters Mitscherlichs með því að bæta svonefndri tví-kvars plötu uppfundinni af Soleil inn í ljósganginn. Þá skiptist sjónsviðið í tvo mis-bjarta hluta, og varð annar dekkri en hinn ljósari við snúning (*Mynd 18-1*). Var snúningshorn lesið af tækinu þegar þeir voru báðir jafn-bjartir, og urðu ýmsar útfærslur þessarar hálfskugga-aðferðar (polarimètre à pénombre) að mestu ráðandi í polarimetrum uns rafrænir ljósnemar komust þar í gagnið á 20. öld. Sjá bók Landolts (1898) og yfirlitsgrein Pellins (1903) um þróun polarimetra.

Plata Savarts (1840, *Mynd 13-2*) er samsett úr silfurbergs- eða kvarsþynnum, skornum á sérstakan hátt miðað við ljósásinn. Með henni og Nicol-prismum mátti sjá hvort ljós væri alveg óskautað eða innihéldi þó ekki væri nema 1% skautaðan hluta (sjá Wood 1905; Wright 1919).



14 Útflutningur silfurbergs til 1850: ágiskanir. Sjá Viðauka 4

Það er ljóst að verulegan fjöldi silfurbergskristalla hefur þurft til að gera rannsóknir á og með fram til 1850, og að þessir kristallar komu flestir frá Íslandi. Eftirspurnin hefur eflaust farið hraðvaxandi eftir 1840 vegna notkunar Nicol-prisma, einkum í polarimetra. Ekki er mér ljóst hvenær farið var að framleiða prismun eða þá mæla í verulegu magni til sölu. Verslunarstaðurinn í Stóru-Breiðuvík var aðeins um 2 km frá námunni við Helgustaði, svo líklegt er að mikið af kristöllum hafi farið um hann til Kaupmannahafnar. Fljótlega eftir að verslunarfrelsi var aukið hér 1786, hófst verslun inni í Eskifirði (um 10 km frá námunni) en tók að hnigna í Stóru-Breiðuvík og lagðist af þar um 1806 (sjá Eskju 5, 1986).

Vel er hugsanlegt, að sjómenn á þeim mörgu erlendu fiskiduggum sem hér veiddu, hafi tínt eða keypt kristalla þegar þau lágu í Reyðarfirði, til þess svo að selja aftur höndlurum eða beint til safnara og vísindamanna. Ekki síður gæti það átt við um þau stærri skip sem fiskiflotanum fylgdu, s.s. flutningsskip (sbr. endurminningar Jóns Ólafssonar ritstjóra sem birtust í Iðunni 1915-16) og herskip. Til þessa bendir meðal annars franskt sjókort nr. 1480 frá 1855 af hluta norðurstrandar Reyðarfjarðar (prentað með öðru korti af skipalæginu við Eskifjörð, kvarði um 1:12000): titill þess er „Croquis des Mouillages du Spath et de Svartas Kiær“, þ.e. Skissa af skipalægjunum við silfurbergið og við Svartasker.

Einnig hafa þeir erlendu ferðalangar sem gerðu sér ferð á staðinn, tekið með sér sýni. Meðal náttúrufræðinga sem komu að silfurbergsnámunni fram til 1850 voru F.A. Thienemann 1820-21, Jónas Hallgrímsson 1842, og A. Des Cloizeaux (1846-47) sem kom þangað 1845 gagnert á vegum frönsku stjórnarinnar og safnaði talsverðu af sýnum (sjá t.d. Senarmont 1845). Aðrir náttúrufræðingar geta hafa komið sér upp samböndum á Íslandi til þess að fá sér send silfurbergssýni, svo sem G.S. Mackenzie sem ferðaðist hér 1810. M.a. kveðst Brewster (1815b) hafa fengið nokkur sýni af Iceland spar frá honum.

Í bréfi til H.C. Ørsteds 1825 (prentuðu í bréfasafni H.C.Ö., útg. 1920) nefnir Brewster, að tveir menn hafi nýlega farið frá Edinborg til Íslands, og árið eftir er þess getið í Edinb. New Philos. J. (1. árg., bls. 179) að íslensk silfurbergs-sýni frá hr. Rose og hr. Brown hafi verið sýnd á fundi Wernerska náttúrufræðifélagsins í Edinborg. Sá síðarnefndi gaf Brewster um svipað leyti sýni af íslenskrri steind sem Brewster lýsti í grein undir nafninu Oxahverit. Í bréfi til Ørsteds 1826 þakkar Brewster fyrir pakka frá Vargas Bedemar greifa, sem hafði umsjón með stóru steindasafni ríkisarfa Danmerkur og hafði gefið út bækling um íslenskt gosberg 1817. Í bréfi frá A. Fresnel 1825 kemur fram, að Ørsted sjálfur virðist hafa útvegað honum eitt sýni

af silfurbergi til rannsókna, og Melloni (183, 1837) segir 92-mm stykki sem hann notaði í tilraunum, vera frá Örsted komið.

Merkileg bein heimild um söfnun við Helgustaði er í bréfum P. Gaimards (1836) og félaga úr leiðangri þeirra hingað það ár. Þar er lýsing á silfurbergs-opnunni og sagt að þeir hafi sent stóra kistu (caisse) til Frakklands af þessu „substance précieuse“ sem franska og erlenda vísindamenn hafi mjög vanhagað um. Dumas (1842) kveðst hafa fengið silfurbergssýni frá E. Robert til efnagreininga sinna (sjá 25. kafla), og geta þau hafa verið úr þeim leiðangri.

15 Meira um misátta hegðun og tvöfalt ljósbrot, frá 1845

15.1 Misátta segulhegðun, 1845-55

Michael Faraday, sem starfaði kringum miðja 19. öld, var einn af merkusturaunvísindamönnum Breta. Áhugamál hans snerust í fyrstu um efnafræði og þar gerði hann margar uppgötvanir, en stærsta verk hans er greinasyrpan „Experimental Researches in Electricity“. Hann uppgötvaði rafsegulspan 1831, og hafði komið sér upp stórum rafsegli á rannsóknastofu sinni auk annarra tækja. Með seglinum fann Faraday meðal annars fyrstur manna fyrirbrigðið mótseglun (diamagnetism) og rannsakaði það ítarlega á árunum 1845-49. Það lýsir sér þannig, að á hluti úr flestöllum efnum sem sett eru í misleitt (inhomogent) segulsvið, verkar veikur kraftur sem reynir að ýta þeim í áttina úr sterkara að veikara segulsviði. Aflangir hlutir sem hengdir voru upp í mjóum þræði í jöfnu segulsviði, leituðust við að snúa sér þvert á það.

Þessar niðurstöður Faradays á segulsviði vöktu strax athygli og heilabrot um eðli efnisins, þó varla eins mikið og þær sem lýst verður í kafla 16.1. Komu margir aðrir sér upp rafsegulum til að gera tilraunir með, og áttu sumir náði samráð um þær við Faraday. Einn var J. Plücker, sem gerði rannsóknir á kraftáhrifum sviðsins á fjölmarga kristalla, þar með silfurberg. Það kom honum mjög á óvart (Plücker 1847), að silfurbergið og fleiri mótseglandi kristölluð efni þverskölluðust við að hlíta lögmálum þeim sem Faraday hafði fundið. Meginniðurstaða hans var: “Wenn man einen beliebigen Kristall mit einer einzigen optischen Axe zwischen die beiden Pole eines Magneten bringt, so wird diese Axe von jedem der beiden Pole abgestossen“. Með síðari tíma orðalagi merkir þetta, að á hlut úr einása efni í einsleitu segulsviði verki vægi sem leitist við að snúa ljósásnum þvert á sviðið. Ef sýni er ekki mjög aflangt, getur þetta vægi yfirgnæft það vægi sem stafar af löguninni. Plücker staðfesti einnig frekar mikilvægi ljósássins í silfurbergi að þessu leyti: í grein (Plücker og Beer 1850) segir að „Der isländische Doppelspath zeigt die magnetische Axenwirkung sehr entschieden“.

Faraday hafði sjálfur verið að kanna þessa skrítnu hegðun, m.a. í bismút-málmi sem hefur einna mesta mótseglun allra efna, og kallaði hana „magne-crystalline action“ (Faraday 1848). J. Tyndall (1894), sem vann með Faraday að tilraunum hans og varð eftirmaður hans í starfi, segir í ævisögu Faradays: „An eminent example of magne-crystalline action adduced by Plücker, and experimented on by Faraday, was Iceland Spar“. Í umræðu um rannsóknir Plückers og sínar eigin segir Faraday í des. 1848 (birt í Proc. Royal Soc. 5, bls. 783): „How rapidly the knowledge of molecular forces grows upon us, and how strikingly every investigation tends to develop

more and more their importance and their extreme attraction as an object of study! A few years ago magnetism was an occult power affecting only a few bodies; now it is found to influence all bodies, and to possess the most intimate relations with electricity, heat, chemical action, light, crystallization, and through it, with the forces concerned in cohesion....“.

Tyndall fór um 1848 til Þýskalands og hélt þar áfram segultilraunum á kristöllum í þrjú ár, fyrst með H. Knoblauch í Marburg (Tyndall og Knoblauch 1850, o.fl.), síðar í Berlín. Af tilraunum sínum (*Mynd 11-1A*) ályktaði Tyndall, hvert væri hlutfall segulhrifstuðla silfurbergs fyrir segulsvið samsíða ljósásnum og hornrétt á. Þeir Knoblauch drógu í efa vissar alhæfingar Plücker's um vensl segul- og ljóseiginleika kristalla, og risu deilur af. Mismunandi niðurstöður mælinga áttu sér að einhverju leyti þá ástæðu, að óhreinindi úr járnseglandi efnum í kristöllum geta gefið miklu meiri svörun en sú mótseglun þeirra sem reynt er að mæla (Plücker og Beer 1850).

Faraday hafði á árinu 1838 reynt m.a. að mæla hvort teningar úr silfurbergi þar sem ljósásinn var samsíða einni kantstefnu, rafmögnumust meira eða minna í þá stefnu en hinar, en fékk ekki afgerandi niðurstöður. W. Thomson sem hafði áður ritað ýmsar greinar um aflfræði, rafmagn og varma, fór að hugleiða hvernig efni brygðust við raf- og segulkröftum eftir að hann frétti af uppgötvun Faradays (sjá kafla 16.1) um seguláhrif á ljós (Thomson 1847). Hann birti síðan meðal annars (Thomson 1851) kennilegar jöfnur um misátta seguleiginleika kristalla, byggðar á drögum að slíkri kenningu sem S.D. Poisson hafði lagt fram um 1824. Thomson stingur þar upp á tilraunum til að prófa kenninguna, með því að mæla þá krafta og snúningsvægi sem verka á kúlur (fremur en heila kristalla) úr kalkspati o.fl. efnum í segulsviði. Tyndall (1851, 1855, 1856) og Faraday (1856) gerðu frekari segulmælingar á teningum, kúlum og sívalningum úr silfurbergi, bismút og fleiri misátta efnum eins og tré. Með tilvísun til þeirra og e.t.v. einnig síðari rannsókna (sjá kafla 15.2 og 28.3) segir Tutton (1922, bls. 1402): „Measurements carried out with spheres of calcite agreed perfectly with Thomson's theory“.

15.2 Kenning um hegðun kristalla í sviði – almennt mikilvægi

Af þeim fáu heimildum sem ég hef skoðað, virðist líklegt að áhugi manna á rúmfræði- og eðliseiginleikum silfurbergsins og annarra kristalla hafi ýtt undir þróun mjög mikilvægrar hliðar á eðlisfræðinni (að meðtöldum aflfræðihugtökum eins og hverfitregðu), sem tengdist nýjungum í stærðfræði (kvaðratísk form, fylki). Í eðlisfræði merkir hugtakið „svið“, að hverjum punkti rúmsins tilheyri einhver eiginleiki. Þessi eiginleiki getur haft einungis stærð eða tölugildi (svonefnd skalarsvið, t.d. eðlismassi eða hitastig), en einnig eru til svið þar sem eiginleikinn hefur bæði stærð og stefnu (vektorsvið, t.d. rennslisraði, rafsvið eða varmastreymi). Í efnum má segja að eitt vektorsvið geti íðulega orsakað annað, og er lögmál Ohms gott dæmi um það: lögmálið segir að rafsvið orsaki rafstraumspéttleika í efni, og er hlutfallsstuðullinn á milli þeirra nefndur rafleiðni þess efnis. Í einföldustu mynd er síðarnefnda sviðið (afleiðingin) hvarvetna samsíða hinu fyrra (orsökinni) og er þá hlutfallsstuðullinn sá sami hver sem stefna þeirra er látin vera.

Í ljós var að koma um 1850, að í kristöllum (öðrum en kubískum) var hlutfallsstuðullinn milli orsakar- og afleiðingar-vektoranna annar í stefnu ljósássins en hornrétt á hann. Til dæmis sýndi Senarmont (1847b, 1848) fram á með því að hita vaxhúðuð sýni af silfurbergi (úr 1845-leiðangri Des Cloizeaux hingað) og öðrum kristöllum, að varmaleiðni þeirra var önnur í stefnu ljósássins en þvert á. Athuganir hans urðu G.G. Stokes (1851b) tilefni til að rita merka fræðilega grein um varmaleiðni kristalla almennt. C. Neumann (1864) gerði svo kennilega úttekt á

varmaleiðni kristalla með tvo ljósása. Athuganir á rafleiðni kristalla (Senarmont 1849, stuttu síðar m.a. C. Matteucci) og rafsvörunarstuðli (Wiedemann 1849, Knoblauch 1851) sýndu einnig að þeir eiginleikar væru háðir stefnu. Sama fékkst úr frekari mælingum á hörku silfurbergs o.fl. kristalla (Franz 1850, sjá niðurstöður síðari mælinga í *Mynd 28-1*), og varmaútgeislun þeirra (Ångström 1853). Grailich og Pekárek (1854) útbjuggu tæki sem þeir nefndu sklerometer, og gerðu með því ítarlegar hörkumælingar m.a. á flötum „viele Stücke des isländischen Spathes“. Gat verið allt að þrefaldur munur á hörkunni eftir stefnu, sem þótti mjög athyglisvert (sjá til dæmis lýsingu á tilraunum þeirra í bók E. Mallards um kristallafræði, þrem áratugum síðar).

Í kaflanum hér á undan var nefnd kenning W. Thomsons um misátta seguleiginleika kristalla og staðfesting hennar með tilraunum. Í umfjöllun um J.C. Maxwell í *Dictionary of Scientific Biography* (1980-90) er sagt að Maxwell hafi átt í löngum bréfaskiptum við Thomson um þessi mál. Maxwell setti síðan 1856 fram hugmyndir um tvennskonar segulsviðsvektora H og B í efnunum, þar sem B var afleiðing af H á sama hátt og þrýstingsstigull veldur flæði vökva gegnum porótt efni, eða hitastigull veldur varmaflæði. Varð þetta m.a. mjög til að styrkja grundvöll kenninga Thomsons varðandi „magne-crystalline action“ Faradays sem nefndar voru í kaflanum hér á undan. Liebisch (1891, bls. 119-120) segir Thomson og Maxwell hafa átt einna mestan þátt í að uppgötva þær nánú stærðfræðilegu hliðstæður, sem gilda um hin ýmsu vektorsvið kristalla-eðlisfræðinnar, og heimildir telja einnig rit Maxwells mjög hafa opnað augu annarra fyrir mikilvægi slíkra vektorsviða. Væri fróðlegt að rekja þá sögu nánar.

15.3 Meira um áhrif þrýstings á ljóseiginleika efna, til 1880

Meðan J.C. Maxwell var enn menntaskólastúdent í Edinborg, fór hann með frænda sínum vorið 1847 að hitta W. Nicol sem sýndi honum silfurbergsprismu sín sem lýst var í kafla 12.2 (sjá m.a. *Dictionary of Scientific Biography*, 1980-90). Maxwell kom sér upp glerspegla-búnaði (*Mynd 13-2*), til að gera merkar tilraunir með skautuðu ljósi á áhrifum þrýstings á ljósbrot hlaupkennds efnis. Nicol gaf honum síðar þar af prismum. Í stórri grein Maxwells (1853) um athuganir sínar á þessum þrýstingsáhrifum komu fram mikilvægar meginreglur um þau, og var (skv. D.S.B.) fræðileg úrvinnsla hans betri en kenning Neumanns (1843) sem getið var í kafla 11. Ævisöguritarar Maxwells benda á að þarna hafi hann fengið mikilvæga reynslu af ýmsu í eðlisfræði samfelldra efna, og sömuleiðis af skautuðu ljósi sbr. grein hans frá 1856 sem nefnd var í kafla 13.2. Nánar um hann síðar, en á næstu árum sinnti hann rannsóknum á öðrum sviðum s.s. í stærðfræði og varmafræði.

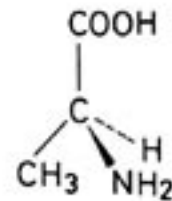
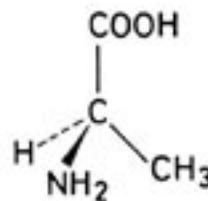
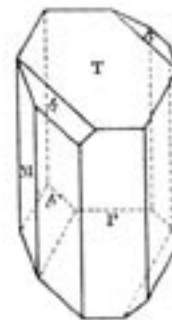
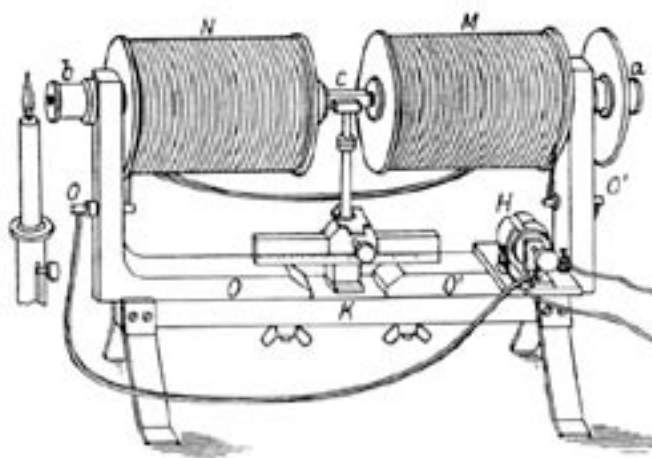
Á tilraunasviðinu varðandi tvöfalt ljósbrot í glærum efnunum undir þrýstingi ber hæst rannsóknir G. Wertheims (1851, 1854). Hann sýndi fram á, að áhrif samþjöppunar og togs eru í öfuga átt en jafnstór og nokkurn veginn í hlutfalli við aflögun efnisins. Hann kannaði einnig hvernig þau breyttust með bylgjulengd ljóssins. Ekki urðu síðan meiriháttar framfarir á þessu sviði fram til 1880, en A. Bravais (1855), A. Kundt, E. Mach o.fl. (tilvitnað af Verdet-Exner 1887 og Kerr 1888, 1894) munu hafa lagt þar sitt hvað til málanna. Sjá kafla 27.3 um mikilvæga hagnýtingu þessa fyrirbrigðis þegar kom fram á 20. öld.



MICHEL FARADAY



LOUIS PASTEUR



Mynd 16-1. M. Faraday (1791-1867), L. Pasteur (1822-1895), og mikilvægar uppgötvanir þeirra. T.v.: Búnaður til að kanna hrif Faradays (1845), þ.e. snúning skautunarplans ljóss í efnum í segulsviði. Teikningin er gerð eftir lýsingu Biots (1846), hér tekin úr Handbuch der Physik 16/I, 1936. Ljós kemur frá vinstri gegnum fast Nicol-prisma í b, sýni sem sést í við c (t.d. glerstöng eða rör með vökva), og annað snúanlegt Nicol-prisma í a. T.h.: Þekkt var að sum efni mynduðu kristalla af tveim spegilmyndar-tegundum. Pasteur (1850) sýndi fram á, að vatnslausnir þesskonar kristalla af vínsýrusöltum sneru skautunarplani ljóss sín í hvora áttina. J.H. van't Hoff og J.A. le Bel stungu síðan upp á því 1874, að þrívíð efnatengi kolefnis gætu myndað spegilsamhverfar sameindir. Hér er það aminosýran alanín.

16 Tvær stóruppgötvanir varðandi optiska virkni, 1845-50

16.1 Faraday: Seguláhrif á ljós

Í öðru afar mikilvægu rannsóknaverkefni Faradays (*Mynd 16-1*) á árinu 1845 kom silfurberg ekki síður við sögu en í hinu fyrra. Hann var meðal annars að leita að einhverjum venslum segulsviðs og ljóss, og sendi í því skyni geisla línulega skautaðs ljóss (frá glerspegli) gegnum margskonar efni, m.a. bút af sérstöku þungu blýgleri sem hann hafði búið til vegna annarra tilrauna (sjá Tyndall 1894, 10. og 11. kafla). Ef glerið var látið vera í sterku segulsviði með stefnu samsíða ljósgeislanum (sjá *Mynd 16-1*), sá hann með Nicol-prisma að skautunarplanið snerist. Faraday (1845) fann svo þessi hrif fyrir fleiri föst efni og vökva, og voru þau í réttu hlutfalli við styrk sviðsins og vegalengdina sem ljósið fór í efninu. Þessi Faraday-hrif sem síðan eru nefnd svo, voru fyrsta vísbendingin um að segulsvið hefði eitthvað með ljósfyrirbrigði að gera, og vöktu mikla athygli eðlisfræðinga. Þeir reyndu að túlka þessar niðurstöður út frá eiginleikum efnisagnanna, og sumir komu sér upp búnaði strax á næstu árum til að rannsaka þau. Sjá t.d. Biot (1846) sem segir tækjasmiðinn Ruhmkorff strax hafa hannað nýja rafsegla með viðeigandi búnaði, Matteucci (1848), Bertin (1848) og Wiedemann (1851). Faraday reyndi án árangurs að mæla þessi hrif í silfurbergi, og öðrum tókst það heldur ekki fyrr en löngu síðar (sjá kafla 28.3). Faraday leitaði einnig að því hvort rafsvið hefði einhver samsvarandi áhrif á skautað ljós í efnum, en þau áhrif fundust fyrst 1875 (sjá kafla 23).

16.2 Uppgötvun Pasteurs 1848, og afleiðingar fyrir efnafræðina

Eins og fram hefur komið, rannsakaði J.B. Biot optiska virkni af mikilli elju lengst af tímabilinu frá um 1812 og fram yfir 1850. Niðurstöður hans höfðu ýtt undir ýmsar vangaveltur um gerð agna efnisins (sameindanna). Fordæmi og áskoranir Biots (1844, o.fl.) til efnafræðinga um að kanna þau mál nánar með tilraunum (sjá Vallery-Radot 1900) höfðu þó enn ekki skilað árangri þegar ungur vísindamaður, L. Pasteur (*Mynd 16-1*), fékk áhuga á að rannsaka optiska virkni mismunandi afbrigða af vínsýru og söltum hennar. Biot (sjá kafla 12.4) og E. Mitscherlich höfðu skrifað greinar um einkennileg vandamál (ættuð að hluta úr rannsóknum Berzelius) varðandi þau efni. Pasteur (1848, 1850, 1851, 1853c) uppgötvaði að í vatnslausn af annarri spegilmyndinni úr *Mynd 16-1* snerist skautunarplan ljóssins til hægri, en í lausn af hinni

til vinstri. Skylt atriði sem menn áttuðu sig brátt á, var að „hendni“ lögunar kvars kristalla stæði í beinu sambandi við það hvort þeir sneru skautuðu ljósi til hægri eða vinstri. Herschel (1822) og Weiss (1836) munu raunar hafa nefnt þetta atriði, en þeim greinum var ekki fylgt eftir. Margt var enn óljóst í málinu, meðal annars því að kvars var eina kristallaða efnið sem þá var þekkt að hefði optiska virkni, en hún var ekki til staðar ef það var uppleyst í lút eða brætt. Pasteur greiddi hinsvegar úr ýmsum ruglingi varðandi kristöllun efna af þessu tagi (Mason 1982, kafli 1.3). Ef t.d. efni í vatnslausn er óvirk blanda af hægri og vinstri sameindum (racemic mixture) má við hagstæð skilyrði láta það falla út úr lausninni þannig að sumir kristallarnir séu hægri handar og aðrir vinstri.

Niðurstaða Pasteurs vakti mikla athygli efnafræðinga, og hófu fleiri að rannsaka optiska virkni kristalla og lífrænna vökva með polarimetrum. Kennslubækur um efnafræði voru farnar að gera þessu fyrirbrigði góð skil fyrir 1860. Birtust næstu áratugi vísindagreinar í hundradatali um mælingar á hegðun optiskrar virkni í aragrúa efna við hinar fjölbreytilegustu aðstæður.

Önnur aðferð sem Pasteur (1853a) fann til að skilja sundur vinstri- og hægri- snúandi sameindir hendins efnis (t.d. vínsýru) í vatnslausn, var sú að láta t.d. annað hægri-snúandi efni (þá t.d. alkaloid eins og kínín) ganga í efnasamband við það. Vinstri-hægri og hægri-hægri samsettar sameindir eru oft mismunandi hvað varðar uppleysanleika í vatninu, og má því einangra þær hvora frá annarri og síðan vinna upphaflega hendna efnið úr samböndunum. Þessi aðferð hefur mikið verið notuð í efnafræði síðan. Skyldri aðferð byggðri á mismunandi hvarfahraða var lýst 1899.

Pasteur hélt áfram rannsóknum sínum á optiskri virkni efna fram til um 1860, og straumhvörf urðu enn í þeim þegar hann var að kanna áhrif örvera á sölt af vínsýru. Fann hann (Pasteur 1858, 1860) að örverurnar gætu valið milli vinstri- og hægri-snúandi sameinda sama efnis, sem var grundvallaruppgötvun varðandi eðli lífsins. Varð hún hvati að margskonar rannsóknum annarra vísindamanna á lífrænum efnum að þessu leyti, og umræðum sem ekki sér enn fyrir endann á, um tengsl hendni við uppruna lífsins á jörðinni. Hvað Pasteur sjálfan snerti (Vallery-Radot 1900, bls. 73-74), leiddi hún til ýmissa þeirra rannsókna hans á gerjun og síðar á sóttkveikjum, sem hann er frægastur fyrir. Þess má geta í því sambandi, að sumir telja hugmyndir Pasteurs varðandi gerilsneyðingu og slík mál vera að hluta sprotnar úr tilraunaniðurstöðum sem A. Béchamp hafði birt. Béchamp (1855 o.fl.) athugaði þar m.a. með polarimeter, hvernig sykurlausnir blandaðar ýmsum söltum í lokuðum glösum breyttust með tíma af völdum myglu.

J.H. van't Hoff (1874) og J.A. Le Bel (1874) lögðu óháð hvor öðrum fram almenna útskýringar-tilgátu á uppgötvun Pasteurs (1848) varðandi ástæður fyrir „hendni“ kristalla og optiskri virkni kolefnissambanda. Hafði sá fyrrnefndi komist á sporið við lestur nýlegra greina um mjólkursýru: þar hafði J. Wislicenus (m.a. 1873) gert ýmsar rannsóknir á mjólkursýru úr holdi dýra sem hefur optiska virkni og mjólkursýru úr súrri mjólk sem var ekki virk þó þetta virtist sama efnið. Wislicenus taldi líklegt að sameindir sýrunnar gætu haft tvennskonar lögun. Útskýringar-tilgáta Hoff's og Le Bel's byggir á því, að hin fjögur efnatengi kolefnisfrumeindar liggja ekki í einu plani eins og talið hafði verið, heldur eru þrívíð. Þess vegna verður lífræn sameind hendin (þ.e. á sér spegilmyndarsameind með sömu efnaeiginleika, eins og vinstri og hægri hönd sbr. *Mynd 16-1*) þegar kolefnisfrumeind er tengd fjórum öðrum frumeindum eða hópum sem öll eru mismunandi. Tilgátan reyndist rétt og lagði grunninn að svonefndri rúm-efnafræði (Stereochemie), sem fæst við þrívíddar-byggingu sameindanna. Lowry (1913a, bls. 545) segir: „... no firmer basis for theories of molecular structure has yet been found than that which rests upon the use of the polarimeter to detect rotatory polarisation“. Einnig varð þessi uppgötvun til að auka skilning á því hvaða kristallaflokkum optiskt virk efni tilheyrja (sjá t.d. Becke 1889).

17 Þróun ljósfræði, m.a. varðandi tilgátu Huyghens, 1840-80

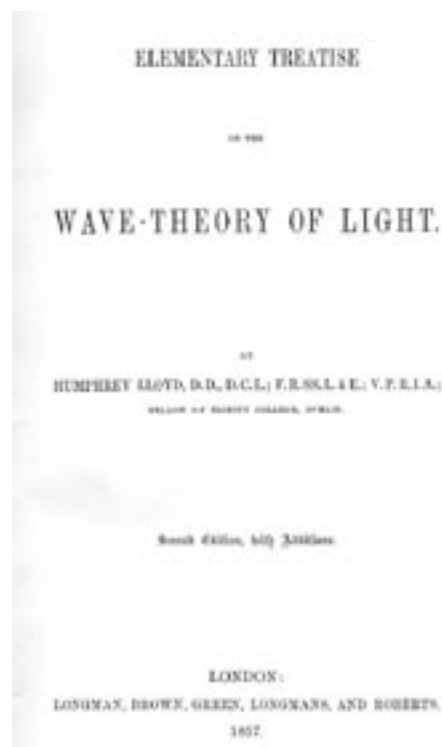
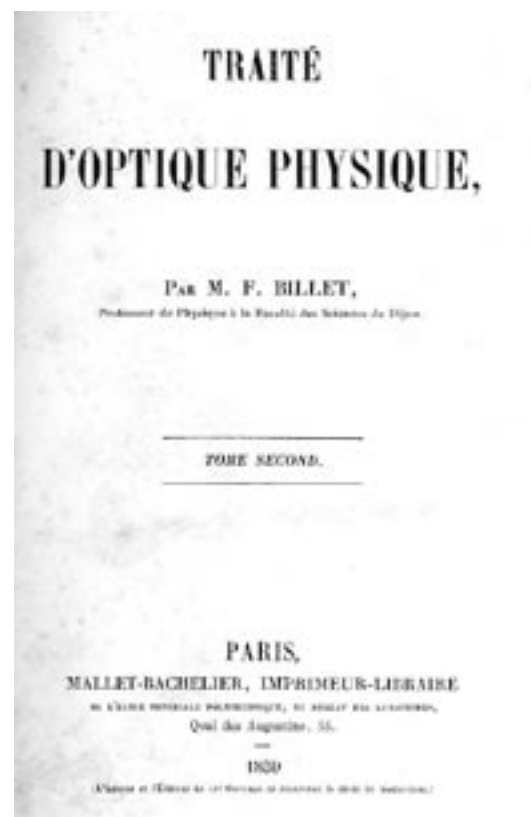
17.1 Kenningar og prófun þeirra

Á meginlandinu var mikið rætt á fræðilegum vettvangi um útbreiðslu ljóssins í tvíbrjótandi efnum, endurkast frá þeim, og algert innra endurkast, t.d. af Broch (1842), Senarmont (1843, 1856), Cauchy (1850b), Lang (1861), Stefan (1864b), Cornu (1867), Briot (1867), og Lommel (1878). Ekki hef ég kannað hvort í þessum greinum var eingöngu upprifjun á ferðinni, eða einhverjar nýjungar, en allavega segir Dictionary of Scientific Biography (1980-90) kennilegar rannsóknir Briots á ljósfræði kristalla hafa leitt til framfara í ellipsuföllum og á fleiri sviðum stærðfræði. Cornu (1872, 1874a) birti almenna útleiðslu á braut ljósgeisla gegnum prisma úr efni með tvöfalt ljósbrot, og prófaði hana ítarlega á silfurbergi. Ohm (1855) útskýrði ljósvíxlun í plötum úr einása kristöllum.

A. Cauchy (m.a. 1839b) kannaði fræðilega og með samanburði við tilraunaniðurstöður, skautun ljóss sem endurkastaðist frá málmflötum. Í kafla 13.2 var nefnt að J. Jamin (1847 o.fl.) gerði ítarlegar mælingar á þessu sviði. Formúlur sem Cauchy leiddi út um tengsl skautunarástandsins við eiginleika málmanna 1849, hafa síðan verið „in der Messtechnik von grosser Bedeutung“ skv. kennslubók R. W. Pohls: Optik und Atomphysik, 1954. Hið sama gildir um greinar A. Beers (1854) og G. Quinckes (1863) varðandi áhrif málma á ljósskautun.

Bretar létu heldur ekki sitt eftir liggja í kennilegri umfjöllun um ljósið. Af greinum varðandi ljósfræði kristalla 1840-50 má nefna Green (1842b), Kelland (1844), Stokes (1846) og Challis (1847), síðar m.a. Strutt (1871c). Greinar Stokes og Challis tengjast því, að 1845 hófst „gullöld“ kennilegrar eðlisfræði í Cambridge-háskóla (sjá Timoshenko 1953), og snerust rannsóknir þar meðal annars um ýmis atriði tengd ljósfræði og fjaðurbylgjum í efnum. Af öðrum ritsmíðum G.G. Stokes um ljósfræði um þetta leyti er stærðfræðileg skilgreining hans á eiginleikum skautaðs ljóss (í Stokes 1852a) sérstaklega merk, og eru enn notaðar „Stokes vísitölur“ sem hann innleiddi þar.

Hér þarf svo að gera útdúr til að kynna hugtakið ljósgreiða (diffraction grating, gitter). Þær eru búnar til með því að rispa mikinn fjölda af samsíða beinum línunum á málm- og glerplötur. Til dæmis nefnir Lloyd (1857) greiðu með 30000 línunum/tommu. Ljósgeisli með tiltekna bylgjulengd sem skellur á greiðunni, breytir að hluta um stefnu. Einföld og mjög nákvæm formúla tengir saman bylgjulengd ljóssins, bil milli lína í ljósgreiðunni, og stefnubreytingar-



Mynd 17-1. Silfurberg stuðlaði mjög að nýjum uppgötvunum í eðlisfræðilegri ljósfræði. Skilaði það sér í útgáfu kennslu- og fræðibóka, bæði um hana almennt og einstök sérsvið eins og bylgju- og kristalla-ljósfræði. Að ofan eru tvær franskar bækur, ritaðar um líkt leyti og A. Bertin segir í erindi (í Rev. Sci. 4, bls. 136, 1867): “La science de la lumière est une science toute française”. Þær komu út í tveim bindum, og má telja að ef efni tengt silfurbergi og skautun ljóss væri tekið burt dygði afgangurinn í eitt bindi. Bækurnar að neðan minna á að Austurríkismenn lögðu mikið til þessara fræða á þýsku málsvæði og Írar á hinu enska, sjá Viðauka 4.

hornið. Með ljósgreiðum má skoða litróf ljóss með mun meiri upplausn en hægt er að gera með glerprismum, en það verður þó jafnframt miklu daufara.

Á árunum 1840-80 hélt áfram umræðan um eiginleika ljósvakans, ekki síst hvort hreyfing ljósvaka-agnanna fram og aftur lægi í skautunarplani ljóssins eða hornrétt á það. Af mörgum greinum um þessi mál á tímabilinu má nefna Schmid (1842), Cauchy (1849, 1850a), Etingshausen (1856), Bartlett (1859), Jamin (1860), Lorenz (1860 og síðar), Fizeau (1861), Quincke (1862 og síðar), Lippich (1863), Mascart (1866), Boussinesq (1867), og Ketteler (1877). Rankine (1851, 1853), Haidinger (1855a), Stokes (1859) og Verdet (1865) studdu kenningar Fresnels, en töldu að auki að tilgátu Fresnels um mismunandi eðlismassa ljósvakans í mismunandi efnum mætti heimfæra á kristalla, þannig að hann væri þar háður stefnu. Stokes og aðrir veltu því einnig mjög fyrir sér á árabílinu frá 1850 og fram yfir 1880, hvort skautunarástand ljóss sem hefur farið fram hjá hindrunum (t.d. gegnum ljósgreiðu) geti svarað spurningunni um sveiflustefnu ljósvakans, en Poincaré (1892) og Winkelmann (1906, bls. 1110-13) segja enga ákveðna niðurstöðu hafa fengist úr því. Í stórri yfirlitsgrein um stöðu rannsókna á tvöföldu ljósbroti stakk Stokes (1862) upp á nýrri og nákvæmri aðferð til prófunar á þessu atriði, sjá næsta kafla. Önnur söguleg yfirlitsgrein um ljósfræðikenningar er eftir Saint-Venant (1872).

Hinar ýmsu hliðar á skautun ljóss og tvöföldu ljósbroti voru orðnar áberandi hluti af efni bóka um eðlisfræði ljóss (þ.e. „physical optics“, sem er oft aðgreind frá ljósgeislafræði, „geometrical optics“) um 1860. Þar má nefna Lloyd (1857) og stór verk eftir Billet (1858-59) og Verdet (1869), *Mynd 17-1*. Sömu leiðis var allitarlega fjallað um skautun ljóss og tvöfalt ljósbrot í almennum eðlisfræðikennslubókum á háskólastigi (t.d. Christie 1864). Byrjað var víða að kynna skautunarfyrrbrigði í sýni- og nemendatilraunum, svo sem liti kristalþynna, optiska virkni, og ljósvíxl-mynstur í kristallaplötum í samleitnu ljósi. Sjá til dæmis auglýsingu Steegs (1857), grein Billets (1862), og verðlista Soleils (1867) um kristalla af silfurbergi o.m.fl. efnum, Nicol-prismu og annan kennslubúnað. Firmu Franz Schmidt & Haensch og R. Fuess sem stofnsett voru 1864 og 1865, áttu eftir að verða stórtæk í smíði ljóstækja með Nicol-prismum.

17.2 Tilraunir á silfurbergi

Fram hefur komið, að vissar afleiðingar tilgátu Huyghens um ellipsoíðulaga bylgjuútbreiðslu óvenjulega ljósgeislans í einása kristöllum (silfurbergi) voru fyrst prófaðar nokkuð ónákvæmt af Hauy (1788), svo með betri nákvæmni af Wollaston (1802b), og enn betur af Malus um 1809. Svo liðu árin: Fresnel jók mjög við tilgátu Huyghens, og mælitækni í ljósfræði fleygði fram sbr. kafla 10.1. Kom að því, að menn vildu prófa með frekari nákvæmni hvort einhver frávik frá Huyghens-lögmálinu væru finnanleg. Enn varð gjarna íslenska silfurbergið fyrir valinu, og má telja það heppilegt í ljósi þeirra niðurstaðna röntgengeisla mælinga síðar, að bestu sýnin af því væru í hópi „most perfect“ (Compton 1916) kristalla sem fyrirfundust. Til dæmis lýsti Billet (1858-59, I, bls. 311-314) aðferð frá F. Bernard til að mæla hliðrun ljósgeisla á ferð sinni gegnum silfurbergsplötu undir mismunandi innfallshornum, og segir niðurstöðum bera mjög vel saman við útreikninga. Desains (1862) stakk upp á svipaðri aðferð til mælinga á ljósbroti kristalþynna, og Lang (1858) kynnti aðra til að mæla ljósbrot í sérsniðnum prismum, en ekki hef ég athugað hvort þær mælingar voru gerðar. Senarmont (1847a) og Cornu (1866, 1867) rannsökuðu m.a. hvernig línulega skautað ljós endurkastaðist frá yfirborði kalkspatkrystalls, og fengu að skautunarplanið snerist þá um allt að fáeinar gráður, í samræmi við kenningar. Stokes (1872) mældi ljósbrot í prismum af silfurbergi með eigin aðferð sem vísað er til í kaflanum hér á undan, og komst að því að hugmyndin um stefnuháða tregðu ljósvakans stóðst ekki. Abria

(1874, 1875) framkvæmdi einnig syrpu vandaðra mælinga á ljósbroti og algeru endurvarpi í silfurbergi.

Jafnframt voru gerðar sérstakar nákvæmnismælingar á brotstuðli „venjulega“ geislans í silfurbergi (Swan 1849), vegna uppástungu J. MacCullaghs um að sá brotstuðull væri eitthvað stefnuháður (sjá Brewster 1843). Grailich (1853, 1856) gerði umfangsmikla fræðilega úttekt á brotnun og endurkasti ljóss við tvíburafleti í einása kristöllum, með útreikningum á niðurstöðum fyrir Doppelspath ásamt lauslegri lýsingu á sýnum sem hann skoðaði. Hugsanlega hefur það í upphafi vakið athygli hans, að þegar horft er á hvítt ljós gegnum silfurbergsstrending með slíkum skilfleti í, sést hvíta ljósið í miðju og tvær mjög litfagrar ímyndir þess til hliða. Þetta fyrirbrigði var kannað nánar af öðrum síðar (sjá Pockels 1906, bls. 203-208) en nákvæmar mælingar virðast ekki hafa verið gerðar á því.

Tilgátur Huyghens og Fresnels um útbreiðslu ljósbylgna í misátta kristöllum voru ekki prófaðar mikið á öðrum efnum en silfurbergi á þessum árum, en ég hef þó séð mælingar Jamins (1850b) á brotstuðlum í kvarsi, síðar endurbættar af Lang (1870), og nýnefndur Abria (1874, 1875) mældi brot- og endurkastshorn í kvarsi auk silfurbergsins. Þá má telja stuttlega athugun Cornus (1874a, bls. 43-46) á saltþétri, og mælingar G. Kirchhoffs 1859 (sjá Stokes 1862, bls. 272) og Glazebrooks (1878) á aragoniti sem hefur tvo ljósása. Nánar í kafla 28.2.

17.3 Um útgeislun ljóss

P. Desains, H. Knoblauch (sjá kafla 10.5) og aðrir héldu áfram rannsóknum á innrauðri geislun á árunum 1850-70. Meðal annars kom fram (Provostaye og Desains 1851) að það ljós og varmageislun sem heitir fletir vökva og fastra efna gáfu frá sér, var að hluta skautað og því meir sem skoðað var undir stærra horni frá lóðlínu. Hér þarf að hafa í huga, að sá hluti af ljósinu sem kemur innan úr efninu, endurkastast að nokkru leyti inn í það aftur. Kirchhoff (1860) benti á að þessi niðurstaða væri eðlileg afleiðing af lögmáli sem hann hafði nýverið sett fram (Kirchhoff 1859): „...für Strahlen derselben Wellenlänge bei derselben Temperatur das Verhältniss des Emissionsvermögens zum Absorptionsvermögen dasselbe ist“. Ef ljós að utan endurkastaðist mismikið frá yfirborði þéttfnis eftir skautun sinni og munurinn ykist með innfallshorninu, hlyti ljós að innan að gera það líka. Var þetta staðfest frekar af Magnus (1866), en Arago (1852) hafði raunar einnig verið kunnugt um málið allt frá 1824. Sú þekking hans átti þátt í (skv. Barnard 1863) að leysa úr deilum um hvort sólin væri úr loftkenndu, fljótandi eða föstu efni. Engin skautun var í ljósi frá heitu gasi, né ljósinu frá ysta kanti sólarinnar, og mátti því álykta að sólin væri loftkennd. Skautun útgeislunar frá flötum var síðan ekki rannsökuð nánar fyrr en af Violle (1887) og Millikan (1895), sem báðir notuðu skautunar-ljósmaeli Cornus (1882).

Provostaye og Desains (1854) gerðu tölulegar mælingar á útgeislun glóheitra hluta, og fundu m.a. að svertir málmfletir sendu frá sér mun meira ljós en gljáandi fletir. Þeir notuðu til þess ljósmaeli með Nicol-prisma og silfurbergs-strendingi (sjá kafla 18.4). Niðurstaðan var mjög mikilvæg, þótt aðrir hafi eflaust verið búnir að finna þetta út áður t.d. með hitamælingum, og kom heim við áðurnefnt lögmál Kirchhoffs (1859). Cotton (1899) segir í yfirlitsgrein um lögmálið: „A relation between the absorption and the emission of what is still called „radiant heat“ had long been known, and De la Provostaye and Desains had verified it with great care.“ Kirchhoff kannaði svo nánar útgeislun ljóss frá heitum hlutum, meðal annars varðandi það hvort hlutur sem gleypiti ljós á tilteknum bylgjulengdum, geislaði frá sér ljósi á sömu bylgjulengdum. Samkvæmt hugmyndum hans átti einnig ljós sem heitt yfirborð „dichroic“ efnis geislar frá sér, að sveiflast meira í gleypi-stefnu efnisins en hornrétt á. Hann setti m.a.

sýni af turmalini í heitan ofn (Kirchhoff 1860) til að prófa þessa tilgátu og svo reyndist vera, en tilraun hans var ekki nákvæm. Hún var þó staðfest von bráðar af Stewart (1860), og af öðrum síðar. Þetta getur hafa verið einn áfangi Kirchhoffs á leiðinni að hugtakinu „svarthlutargeislun“, sem hann setti fram 1862. E. Becquerel (1863, 1867, bls. 61-97) notaði ljósmæli með Nicol-prismum auk hitatvinnis o.fl. tækja til að rannsaka útgeislun ljóss frá heitum hlutum, og hann vitnar í mælingar Fr. Zöllners (1860) á geislun glóvira með ljósmæli sem í var glerspegill og Nicol-prisma. Becquerel taldi hið útgeislaða afl aukast sem tiltekið veldisfall af hitastigi. Í grein í *Physical Review* 13, 1901 segir E.L. Nichols um þessar athuganir E. Becquerels: „...his work is especially noteworthy in that he employed many of the methods to which, in the hands of later investigators, our knowledge of the laws of incandescence is due. He established the fact of the direct proportionality of the logarithm of the intensity of radiation to the temperature and pointed out the possibility of optical pyrometry“.

G.G. Stokes og fleiri rannsökuðu mikið flúrljómun efna á árunum eftir 1850, þar með skautun ljómunarinnar. Þá niðurstöðu (t.d. Stokes 1852b) að bylgjulengd útgeislaða ljóssins var alltaf meiri en þess ljóss sem orsakaði flúrljómunina, var ekki hægt að útskýra fyrr en með kenningum A. Einsteins um ljóseindir 1905. Stokes fann í þessum rannsóknum að kvars hleypti öðrum efnum betur í gegnum sig útfjólubláu ljósi, og Miller (1862) sýndi að silfurberg dugði þar einnig þolanlega: nánar er um þau mál í kafla 29.8. E. Becquerel (1857, 1861, 1867) kannaði ljómunar-fyrirbrigðin lengi, sjá kafla 18.4. Var silfurberg eitt þeirra efna sem hann rannsakaði sérstaklega að þessu leyti; hann segir það gefa frá sér rauðgult ljós. Með ljósmæli sínum með Nicol-prismum gekk hann m.a. úr skugga um að styrkur ljómunar sýnis er í réttu hlutfalli við styrk ljóssins sem veldur ljómuninni.



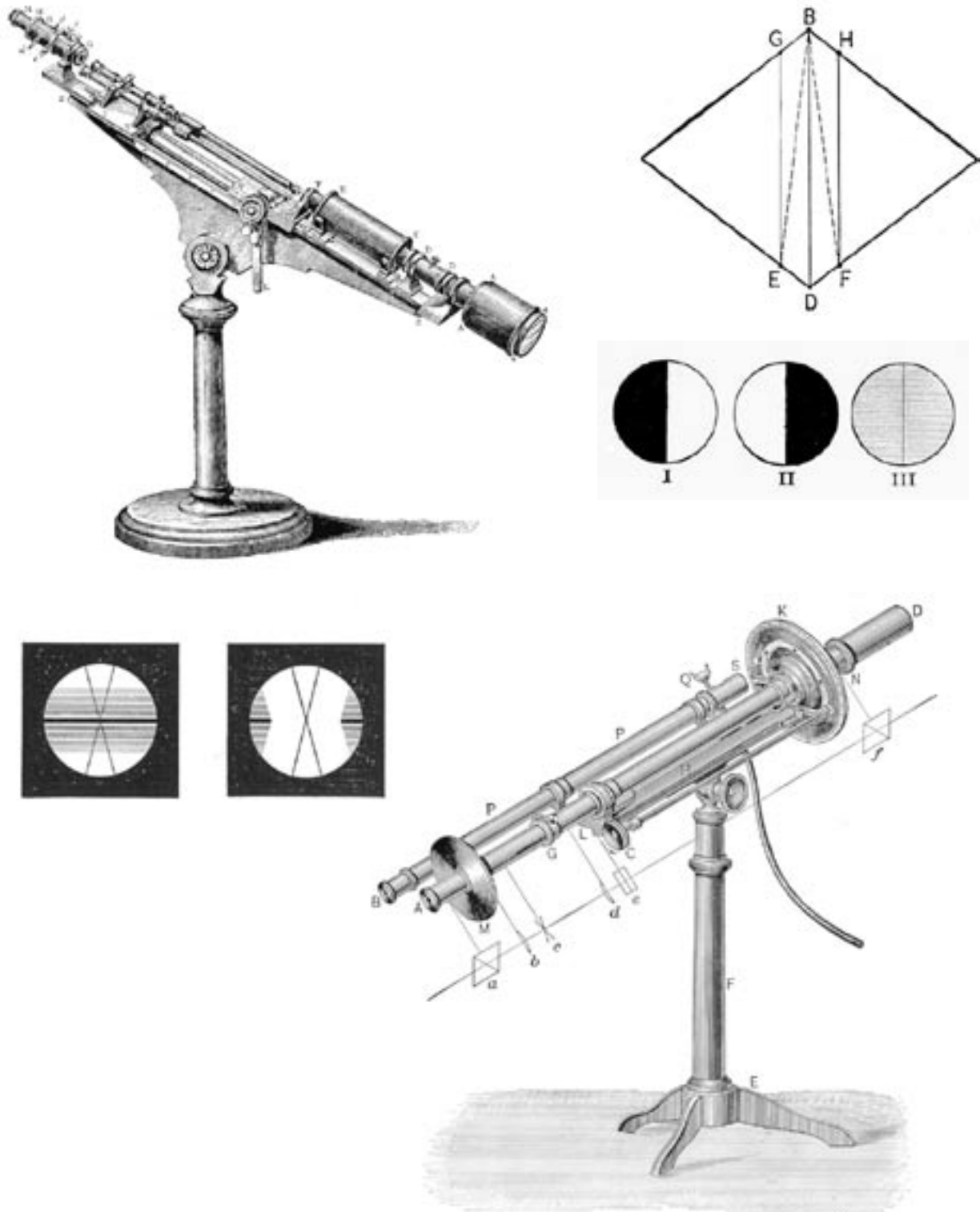
18 Tækjapróun 1850-70

Á áratugunum 1850-70 komu fram ýmsar nýjungar í silfurbergs-skautunarprismum, t.d. frá Foucault (1857), Potter (1857), Jellett (1858-61), Hasert (1861), Dove (1864, tveggja geisla prisma), Hartnack og Prazmowski (1866), og Jamin (1869). Prisma Senarmonts (1857, *Mynd 12-1* efst), sem líkist tveggja geisla prismum Rochons og Wollastons, er enn framleitt. Hér verður lýst ljóstækjum með silfurbergsprismum sem má flokka í þrennt: polarimetra, smásjár og ljósmæla. Að auki kom silfurberg eflaust við sögu í ýmsum öðrum tækjum. Má þar nefna næman ljósvíxlunarmæli (interferometer) Jamins (1868) með tveim silfurbergsþynnum. Með honum mátti m.a. rannsaka litlar breytingar á brotstuðlum efna, en hann var e.t.v. vandmeðfarnari en eldri samskonar og vinsæll mælir Jamins með glerplötum. Sjá í kafla 39.5 um notkun hans löngu síðar.

18.1 Nýir polarimetrar og rannsóknir með þeim, 1850-70

Meðal annarra sem skrifa um endurbætur polarimetra 1850-60 eru Senarmont (1850), Stokes (1851a), og Pohl (1856). Margt af þessum endurbótum dugði til frambúðar, ekki síst tví-kvarsplata Bravais (1855) sem gerði mögulegt að nota hálfskugga-tæknina í þeim polarimetrum sem mældu ellipsuskautað ljós. Ný gerð polarimeters eftir Listing (1855), Wild (1863, 1864, 1870) og Bakhuyzen (1872) var m.a. ætluð til mælinga á sykri í þvagsýnum vegna sykursýki. Í því tæki veldur Savart-plata úr silfurbergi eða kvarsi því, að athugandinn sér margar samsíða rendur, sem hverfa við þá stillingu þar sem lesa á af (*Mynd 18-1*). Mælategund þessi, sem var jafnan kennd við Wild, var framleidd til sölu frá um 1870. Fleiri rannsókuðu sykri í þvagi með öðrum polarimetrum, svo sem Robiquet (1856) og Bence Jones (1861). Sá síðarnefndi bar saman niðurstöður fengnar með þeim og með efnafræðilegum aðferðum, og gat einnig sýnt fram á að lítilsháttar sykri væri í þvagi heilbrigðs fólks. Það atriði var raunar umdeilt lengi síðan, en endanlega staðfest um 1930.

Það afbrigði polarimetra þar sem magn sykurs í vökvasýni var lesið beint af kvarða, nefndist sakkárimetrar og voru þeir framleiddir í áratugi, með margskonar endurbótum. Í þessar mælingar má nota venjulega polarimetra með hringskífu þar sem sykurmagn kom í stað gráða. Algengara var þó líklega að hafa greini-Nicolprismað í fastri stöðu, en láta kvarsplötu (með ljósás hornrétt á plötuna) snúa skautunarplani ljóssins í öfuga átt við snúninginn í vökvanum. Platan var í raun samsett úr tveim fleygum af hægra- og vinstra-kvarsi sem færðir voru hvor yfir annan (*Mynd 22-1* að ofan). Rolfe (1905, bls. 33) segir: „About 1850, Duboscq was the first



Mynd 18-1. Efri mynd: Polarimeter Jelletts (1861-64, 1875) með sérstöku skautara-prisma sem var fengið með því að taka fleyginn BEDF úr silfurbergskubbi (sem hér sést í endann á) og líma saman. Athugandi sem horfði í mælitækið frá vinstri sá hringlaga flöt skiptan til helminga, og sneri greiniprismanu uns helmingarnir voru jafnbjartir eins og sýnt er í III hægra megin. Þessi “hálfskugga”-tækni í ýmsum útfærslum varð smátt og smátt allsráðandi bæði í polarimetrum og ljósmælum. Neðri mynd: Polarimeter Wilds (1864, 1870) og ljósmælir hans beittu ljósvíxla-tækni í stað hálfskuggans, og byggir hún á notkun Savart-plötunnar e. Athugandi snýr hjólinu C uns rendurnar hverfa, og les þá af kvarða tækisins með kíkinum B. Myndin er úr Browne (1912).

to make a practical quartz-wedge saccharimeter“ og á þá væntanlega við lýsingu í grein eftir Clerget (1849) eða Duboscq og Soleil (1850). Einn helsti kosturinn við þá tegund var sá, að nota mátti hvítt ljós í stað einlits. Þekking þurfti optisku virknina í kvarskristöllum nákvæmlega til að nota kvarsfleyga og kvarsþynnur í polarimetrum. Er í ritum talsvert vitnað um það til mælinga O.J. Brochs (1846), sem voru gerðar með afbrigði af tilraun Fizeaus og Foucaults (1845) úr *Mynd 13-2*. Kvörðun Brochs var svo endurbætt af J. Stefan (1865), og aðrir gerðu þar enn betur með tímanum, svo sem Soret og Sarasin (1875). Nálgunarformúlur fyrir breytingu virkninnar með bylgjulengd ljóssins voru settar fram m.a. af Boltzmann (1874).

Nákvæmni polarimetra mátti auka mjög, eins og áður hefur verið vikið að, með því að skipta sjónsviðinu í tvo misdökka hluta. Polarimeter J.H. Jelletts (1861-64, *Mynd 18-1*, efri) mun hafa verið fyrsti mælirinn þar sem „hálfskugga“-sjónsviðið var fengið með tvískiptu silfurbergsprisma í stað tví-kvars plötu Soleils. Prisma Jelletts varð brátt vinsælt (sjá *Mynd 18-1*, efri) og var notað í áratugi (Schulz og Gleichen 1919, bls. 66; Struers 1925; Kessler 1926, bls. 1403-04) þótt smíði þess væri vandasöm (Salomons 1893, bls. 214) og nákvæmari hálfskuggatæki kæmu fram á þeim tíma.

Notkun polarimetra við mælingar á sykurefnum o.fl. var orðin fjölbreytt upp úr 1850 (Riddell 1853, Pohl 1856, Buignet 1861). Polarimeter-mælingar hjálpuðu þannig til við einangrun ýmissa nýrra sykurttegunda (t.d. Pelouze 1852, Berthelot 1858), lífrænna sýra (t.d. Wurtz 1857) og fleiri efna. Jafnframt áttu þær þátt í að staðfesta að olíur unnar úr blómum, fræjum, barnálum o.s.frv. samanstóðu iðulega af tveim eða fleiri kolvetnis-samböndum (t.d. Jeanjean 1856), sömuleiðis terpentína (Berthelot 1853), o.s.frv. Mælingar með polarimetrum og öðrum tækjum sýndu að terpentínu- og kamfóruefni úr mismunandi trjám voru allmismunandi, sjá til dæmis Chautard (1863). Hér má einnig minnst enn á A.P. Dubrunfaut sem vann í yfir hálföld að eflingu sykur- og gerjunariðnaðar í Frakklandi og var nefndur „faðir rófusykursins“ af samtíðarmönnum. Hann (Dubrunfaut 1869) sýnir fram á með polarimeter, að þegar hrásykur sé fluttur til verksmiðja óhrein, nái örverur að gerja hluta hans og spilla gæðum. Um rannsóknir með polarimetrum í sykuriðnaði og víðar eftir 1870 er fjallað í kafla 22.2.

Þróun polarimetra var í Frakklandi studd af iðnaðarsamtökum og ríkisstjórninni m.a. til að bæta gæði hráefna og draga úr vörusvikum á matvælum og lyfjum (Billet 1858-59, II, bls. 291-297). Þau voru mjög algeng, og út komu stórar bækur með leiðbeiningum í baráttunni gegn þeim (s.s. Chevallier-Baudrimont 1882). Mælarnir gáfu í ýmsum tilvikum vísbendingu um slíkt svindl á fljótleigan og öruggan hátt, svo sem þegar sterkjusírópi var laumað í sykursíróp (Soubeiran 1850), hunang eða glyserin var drýgt með sykri eða sterkjusírópi, og mjólk þynnt með vatni (Vernois og Becquerel 1853, bls. 133-137). Einnig voru dýrar jurtaolíur til nota í ilmvoðn og aðrar snyrtivörur, eða línolía til málningargerðar, stundum blandaðar ódýrari olíum (Gladstone 1864, Sidersky 1895, Piesse 1903), jafnvel terpentínu (Buignet 1861, Rolfe 1905). Varðandi áfengi, einkum vín sem innflutt voru til Frakklands, var ástandið eins: Tony-Garcin (1887) segir að „La falsification des vins par les sucres, glucoses et dextrines a pris...une très grande importance“. Sjá einnig Sidersky (1895, bls. 124-126). Í Evrópulöndum mun hafa verið komin löggjöf varðandi gæði matvæla um eða fyrir 1880, og sömuleiðis í nokkrum fylkjum Bandaríkjanna.

Sterkjúsírópið sem nefnt var hér rétt fyrir ofan, var byrjað að búa til úr kartöflum o.fl. í Evrópu um 1820, og var notað í margskonar framleiðslu s.s. brauð og brennd vín. Tengdust polarimetrar nokkuð þróun sterkjuiðnaðarins eins og fram kom í kafla 12.4. Í Bandaríkjunum kom í ljós að maís var sérlega hentugur til að framleiða sykurefni úr með hjálp sýra (og síðar lífhvata). Hófst það í stórum stíl um 1870 og voru meginefnin sem fengust úr sterkjunni nefnd „glucose“ og „grape sugar“ en voru í raun blanda af glúkósa, maltósa, dextrini og vatni. Þessi efni voru ágæt til margskonar brúks og ekki óhollari en súkrósi til neyslu í sælgæti o.þ.h., en urðu

einnig brátt vinsæl til að svindla með (Higel 1883). Var þeim þá blandað án vitundar kaupenda í t.d. stráskykur, niðursoðna ávexti, sultur, hunang og slíka dýrari vöru, oft með miklum hagnaði. Alríkislög um gæðakröfur til matvæla (Pure Food and Drugs Act) voru ekki sett fyrr en 1906 eftir langa baráttu. Sem dæmi um þörfina fyrir þau lög var bent á það í blöðum árinu áður, að af öllu því sem selt væri í Bandaríkjunum undir heitinu hlýnsíróp (maple syrup) væri varla nema 5% raunverulegt hlýnsíróp. Helsti frumkvöðullinn í þessari baráttu í aldarfjórðung var H.W. Wiley sem var jafnframt einna fyrstur landa sinna til að kynnast polarimetrum og nota þá við könnun á sykurefna-framleiðslu (Wiley 1880, 1896a o.fl.). Með áðurnefndum lögum sem hann samdi að miklu leyti, var komið á fót Matvæla- og lyfjastofnuninni (F.D.A.).

Eflaust áttu polarimetrar þátt í mörgum uppgötvunum í efnafræði, læknisfræði og víðar á seinni hluta 19. aldar. Sem dæmi má nefna ítarlega rannsókn L. Wilhelmys (1850) á hraða þeirra „inversion“-efnahvarfa sem verða ef sýrum er bætt í sykurlausn, og var sykurmagnið mælt með polarimeter (frá Soleil-verkstæðinu). Telja sumar þeirra mörgu síðari tíma heimilda sem nefna rannsókn Wilhelmys, svo sem Heys (1952, bls. 222-225) að niðurstöður Wilhelmys hafi verið mikilvæg röksemd fyrir massavirknilögmálinu sem C.M. Guldberg og P. Waage settu fram á árunum 1863-67. Þetta mikilvæga lögmál segir m.a. til um áhrif styrks hinna mismunandi efna sem eru látin hvarfast í lausn, á endanlegt jafnvægisástand lausnarinnar. Ekki er þó vitnað beint til Wilhelmys í þeim greinum Guldbergs og Waages (t.d. 1864) sem ég hef komist yfir, og þeir virðast hafa mest byggt á athugunum M. Berthelots o.fl. á öðrum efnaferlum með öðrum aðferðum. Rolfe (1905, bls. 251) segir Wilhelmy hafa þarna verið fyrstan til að setja fram stærðfræðilegt líkan af þessum efnahvörfum, og þar með „...opened up a field of research which has had enormous influence on the science of chemistry...“. Þetta mætti kanna nánar, sbr. kafla 27.6. J.H. Jellett (1875) sem nefndur var rétt áðan, notaði polarimeter sinn við syrpu rannsókna m.a. á efnajafnvægi og á eiginleikum sykur- og alkaloid-efna. Fáir virðast hafa veitt niðurstöðum hans athygli, en í eftirmála hinnar þýsku útgáfu greinar Jelletts 1908 segir W. Nernst þar vera ýmsar merkar viðbætur við vinnu Guldbergs og Waages. Voit (1867, og um svipað leyti einnig F. Hoppe-Seyler) notaði polarimeter til að rannsaka sveim (diffusion) sykurs í vatnslausn; má nefna hér, að A. Einstein nýtti sér gögn úr frekari rannsóknum á því sviði í doktorsritgerð sinni 1905.

Mestu framfarirnar á sviði sykurefna urðu síðan með rannsóknum E. Fischers kringum 1900, sjá kafla 27.4. Sú aukna þekking á fjölsykrungum úr jurtaríkinu sem mælingar frumkvöðulsins J.B. Biots allt frá 1832 (kafla 12.4) leiddu til, kom sér eflaust einnig vel við rannsóknir á glykogeni, eftir að C. Bernard lýsti fyrstur mikilvægu hlutverki þess í dýrum 1857. Glykogen sem einkum finnst í lifur er byggt upp úr glúkósa-einingum líkt og sterkja (kafla 13.2). Sjá t.d. Bernard (1872) og Külz (1881) um samanburð á ljóseiginleikum glykogens, sterkju o.fl. efna.

Efnafræðingar fóru loks snemma á þessu tímabili að sannfærast um réttmæti þess álits J.B. Biots, að rannsóknir á optiskri virkni gætu veitt mikilvægar upplýsingar varðandi byggingu sameinda. Krecke (1872) segir í yfirlitsgrein: „Da in neuerer Zeit das Streben der organischen Chemie dahin geht, zu ermitteln, wie die Atome im Molekül einer Verbindung gruppirt sind, so hat auch die Circumpolarisation eine erhöhte Bedeutung gewonnen, da es gibt fast keinen Zweig der Wissenschaft, welcher geeigneter wäre, den Chemiker bei den Untersuchungen über die Structur zu leiten.“ Einn þeirra sem fengu áhuga á optiskri virkni efna fyrir tilstilli Biots, var A. Arndtsen (1858) sem m.a. rannsakaði hina sérstæðu hegðun vínsýru hvað varðaði breytingar á optisku virkninni með bylgjulengd (sjá kafla 12.4) og setti fram skýringu á henni. Nánar verður farið út í þau mál í kafla 22.3.

A. Becquerel (1849) lýsti ítarlega notkun polarimeters til að mæla albumin í sermi, mjólk og öðrum líkamsvökvum við greiningu sjúkdóma. A. Béchamp lauk doktorsritgerð í læknisfræði 1856 um albumin og skyld prótein: segir Dictionary of Scientific Biography (1980-90) hann

hafa fundið þar með hjálp polarimeters ýmis mikilvæg atriði sem eldri aðferðir höfðu ekki greint. Hann skrifaði síðar merkar ritgerðir um þessi prótein, og gegndu polarimeter-mælingar þar enn stóru hlutverki (t.d. Béchamp 1873, 1884). A. Bouchardat, sem nefndur var í kafla 13.2, ritaði m.a. um optiska virkni í sumum svonefndra alkaloid-efna (Biot 1843b; Bouchardat 1843; Bouchardat og Boudet 1853) sem hafa löngum haft mikla þýðingu, ýmist sem lyf, ávanaefni eða eitur. Af slíkum efnum má nefna kínín (og tugi skyldra efnasambanda), atropin, kódein, nikotin, stryknin og morfín. Pasteur (1853b), Buignet (1861) og fleiri rannsökuðu einnig optiska virkni ýmissa alkaloida.

18.2 Smásjár, Nicol-prismu og þunnisneiðar af bergi 1850-70

Marbach (1854, 1855) nefnir skautunarsmásjá í tveim merkum greinum. Í annarri er í fyrsta sinn lýst optiskri virkni í efni úr kubiska kristallakerfinu, natriumklórati. Í hinni greininni er sagt frá sérkennilegum ljóseiginleikum ýmissa kristalla (sem m.a. D. Brewster hafði raunar tekið eftir áður), til dæmis tvöföldu ljósbroti í kubiskum kristöllum. Þeir eiginleikar hafa lengi síðan verið kallaðir „optiskar anomaliur“ (sjá t.d. Mallard 1876) og stafa af tvíburabyggingu, innri spennum o.fl. Marbach lýsir ekki smásjá sinni nánar, en hún er e.t.v. hin sama og sveitungi hans M.L. Frankenheim (1854, 1860) notaði við rannsóknir á vexti og upplausn kristalla: sú var með tveim Nicol-prismum.

Kobell (1855) bjó til smásjá er hann nefndi stauroskop (kross-sjá) til að greina steindir út frá ljósvíxlunarmynstrum þeim sem sjást í *Mynd 7-3*. Hún notaði glerspjgil og turmalin-þynnu. J. Nörrenberg kynnti 1858 bergfræðismásjá með glerplötum og Nicol-prisma (*Mynd 13-1A*), sjá Bertin (1863) og Groth (1926).

A. Des Cloizeaux hóf að skoða plötur eða þynnur úr gegnsæjum steindum með smásjá Amicis um 1855 (Des Cloizeaux 1855, 1857a) og smásjá Nörrenbergs um 1860, sjá formála bókar hans um steindafræði (Des Cloizeaux 1862, tilvitnað af Bertin 1863). Hann rannsakaði um 500 steindir (skv. D.S.B.), og varð fyrstur landa sinna til að nota ljósfræðilegar athuganir að ráði til greininga á þeim (Lacroix 1893). Sjá t.d. Des Cloizeaux (1861) um þessi mál; þar er lýst smásjá með a.m.k. einu Nicol-prisma. Grailich (1858) ritaði bók (*Mynd 17-1*) um rannsóknir sínar á margskonar steindum og öðrum kristöllum, gerðar fyrst í stauroskopi Kobells og smásjá af Amici-gerð en síðan í mun betri Nörrenberg-smásjá með tveim Nicol-prismum. Dove (1861) var vel kunnugur smásjám með Nicol-prismum.

Í ítarlegri grein eftir Des Cloizeaux (1864) eru myndir af tveim smásjám, of litlar þó og óskýrar til að birta hér. Skautarinn er ýmist glerplötur (tækni Amicis og Nörrenbergs) eða Nicol-prisma, og greinirinn er Nicol-prisma. Hann varð fyrstur til að taka ljósmyndir af steindum gegnum slíka smásjá (sbr. minningargrein eftir A. Lacroix í Bull. Soc. Minéral. Fr. 20, 1897, og Des Cloizeaux 1855). Með smásjá sinni gat Des Cloizeaux mælt hornið milli ljósásanna í tvíása steindum til að bera kennsl á þær, og hann (Des Cloizeaux 1866) útbjóg einnig skautunarsmásjá með upphitunarbúnaði til að kanna áhrif hita á steindir. V. v. Lang var 1862 búinn að smíða sérhæft tæki með Nicol-prismum til að mæla áshorn, og í grein um endurbætta gerð þess segir Lang (1867) að: „...die Ermittlung optischer Constanten für die Bestimmung von Mineralien immer mehr und mehr Wichtigkeit gewinnt“.

Des Cloizeaux (1857b) tók eftir því að steindin zinner (HgS, trigonal) sýndi sterka optiska virkni, og fundust brátt fleiri einása steindir með þennan eiginleika. Vakti það og fyrnefnd uppgötvun Marbachs (1854) á virkni í kubiskum kristalli umræðu um samhverfu kristalla (t.d. Lang 1869). Sjá meira um þetta í kafla 22.3.

Leó Kristjánsson (2000) hefur lýst nokkrum atriðum í þróun smásjarrannsókna á gegnsæjum þunnum sneiðum sem slípaðar voru úr bergsýnum. Helsti frumkvöðull í þeim rannsóknum var H.C. Sorby upp úr 1850 (einkum Sorby 1858), en F. Zirkel átti síðan mikinn þátt í að þróa þær áfram eftir 1860 og kynna í kennslubókum sínum (Zirkel 1866, 1873). Í fyrstu grein Zirkels (1863) um smásjárskoðun þunnsneiða er m.a. fjallað um íslensk sýni, sem hann safnaði hér sjálfur. Af þeim plöggum sem ég hef náð í, er síðan ljóst að Zirkel og samstarfsmenn hans voru byrjaðir að nota skautað ljós um 1864. Meðal annars segir H. Vogelsang (1867) í umfjöllun um þunnsneiðar, sem hann birtir litmyndir af: “Eine treffliche Unterstützung erhält man durch Benutzung des Polarisationsapparates, nicht nur zur Unterscheidung der Species, wie Quarz von Feldspath, triklinischem Feldspath mit lamellarer Zwillingsbildung von monoklinoedriscen, Leucit von rundlichen Feldspathkörnern u.s.w., sondern ganz besonders lässt sich dadurch ein sicheres Urtheil gewinnen über die Natur desjenigen Bestandtheiles der Gesteine, welchen wir mit mehr oder weniger erklärenden Beiwörtern als Grundmasse zu bezeichnen pflegen. Die glasige, halbkristallinische oder kristallinische Beschaffenheit derselben lässt sich auf diese Weise streng beweisend darthun.“

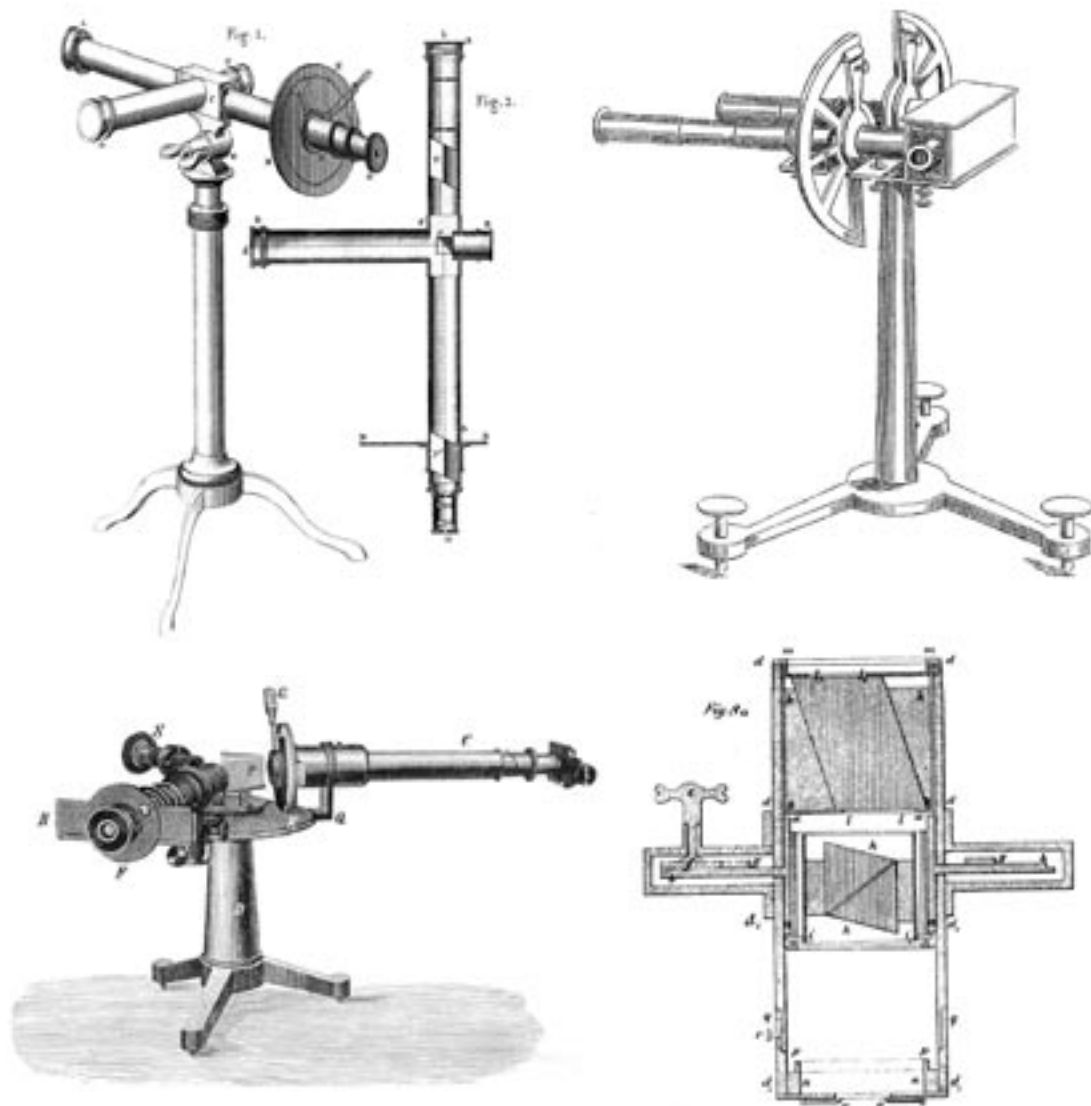
Til viðbótar við það sem fram kemur í tilvitnaðri kláusu frá Vogelsang, eru kostir við greiningu steinda (í þunnsneiðum af staðlaðri þykkt) með skautuðu ljósi m.a. þessir:

- Aðferðin er fljótleg, og eyðileggur ekki sýnið eins og efnagreining gerir.
- Í skautuðu hvítu ljósi (þegar Nicol-prismu ofan og neðan sýnis eru látin snúa þvert hvort á annað) hefur hver steind liti sem ekki sjást í óskautuðu ljósi. Úr litunum getur þjálfaður rannsakandi áætlað mismun brotstuðla steindarinnar, sem er mikilvægt til tegundagreiningar, sér í lagi við að þekkja í sundur mismunandi steindir með líkt útlit. Tvíbura-myndun í kristöllum kemur einnig skýrt fram í skautaða ljósinu, og sömuleiðis breytingar á efnasamsetningu innan korns (zoning): hvorttveggja sést óglöggt eða alls ekki í óskautuðu ljósi.
- Hægt er að mæla lítil korn og jafnvel kornhluta, sem ómögulegt er að ná sýnum af til að efnagreina með aðferðum efnafræðinga. Sjá nánar í kafla 22.4.

Einn þeirra sem voru byrjaðir að nýta sér þunnsneiða-tæknina í skautunarsmásjár fyrir 1870, var G. Tschermak (1869, 1870), m.a. í tengslum við rannsóknir á efnasamsetningu plagioklasfeldspata. Reyndust þessi feldspöt mynda samfellda einsmynda röð frá albiti til anortits, þar sem kalsium og ál koma smátt og smátt í stað natriums og kísils í efnaformúlunni. Leystist þar með úr ýmiskonar ruglingi (þar sem íslenskt berg hafði komið talsvert við sögu, meðal annars undir nöfnunum baulit, kraflit og havnefjordit). Rath (1868) fann bergtegund þar sem efnasambandið SiO_2 hafði kristallast á annan hátt en í kvarsí, og kallaði þá steind tridymit. Maskelyne (1870) segir frá smásjárathugunum sínum á steindum í loftsteinum, með Nicol-prismum. Kile (2003) bendir sérstaklega á stórt rit Zirkels (1876) með litmyndum af þunnsneiðum sem var hluti úttektar á jarðfræði Bandaríkjanna eftir 40. breiddarbaugnum: það „established petrography as a fundamental science“ og jarðfræðistofnanir þar vestra tóku brátt að ráða starfsmenn til slíkra rannsókna.

18.3 Skautunarsmásjár í líffræðirannsóknum

Hér má byrja á að nefna til gamans, að W. Nicol birti greinar upp úr 1830 um skoðun þunnsneiða af trjáviði og steingerðum trjám, en ekki notaði hann við það prismun sem hann hafði fundið upp. Ég hef aðeins athugað lauslega hvernig líffræðingum gekk á árabílinu 1850-70 að nýta sér skautað ljós við smásjarrannsóknir, en vitað var um 1840 að t.d. bein- og vöðvavefir, skeljar, og agnir af sterkju sýndu liti í því ljósi, svipað og kristallar gerðu. Örverufræðingurinn



Mynd 18-2. Eldri gerðir ljósmæla. Að ofan t.v.: Mælir E. Becquerels (1861) sem hann notaði á hitageislun og ljómun. P og P' eru Nicol-prismu. Að ofan t.h.: Mælir F. Bernards (1852). Ljós frá tveim flötum sem bera á saman, kemur inn frá vinstri gegnum rörin, og í hvoru þeirra eru tvö Nicol-prismu. 90° -glerprismu beina báðum ljósgeislunum til hliðar í kíkigatið. Með hjólunum má snúa Nicol-prismunum til að deyfa annan um þekkt hlutfall. Að neðan t.v.: Litrófs-ljósmælir Glans (1877) í útfærslu verkstæðis Schmidt & Haensch, mynd úr Groth (1885). Í honum er Rochon-prisma P úr kvasi og Nicol-prisma. Að neðan t.h.: Meginhluti ljósmælis Wilds (1863) með Nicol-prisma af Foucault-gerð og silfurbergs-kubb, hinn hlutinn er eiginlega sá sami og polarimeter Wilds (sjá fyrr).

C.G. Ehrenberg (1848, 1849) vitnar til fyrri rannsakennda og telur upp mjög mörg tilfelli af eigin reyngslu þar sem skautað ljós hjálpi til við skoðun lífvera og aðgreiningu lífræns efnis frá ólífrænu svo og kristallaðs efnis frá glerkenndu. Ekki hef ég séð í greinum hans, hvaða skautunarbúnað hann notaði. Mohl (1858, 1859) segir að vísu Ehrenberg og aðra frumherja hafa haft ýmsar ranghugmyndir, en samsinnir því að skautunarsmásjá sýni atriði sem ekki komi fram í venjulegum smásjám. Hann nefnir að Nicol-prismu taki þar langt fram öðrum aðferðum við ljósskautun. Sjá einnig White (1858), Brücke (1858) sem skoðaði á sama hátt vöðvaþræði úr ýmsum dýrategundum og birti litmyndir af þeim, og Klebs (1864) sem kannaði taugar í vöðvavef.

Þekktur lífeðlisfræðingur, G. Valentin, rannsakaði á árabílinu 1858-81 ýmsa vefi úr plöntum og þó einkum dýrum með smásjárútbúnaði sem byggður var á polarimeter Wilds, sjá t.d. bók hans (Valentin 1861). Einnig kannaði Nägeli (t.d. 1862) plöntufrumur í skautuðu ljósi, og taldi hann sterkjukorn, sellulósahimnur og margt annað lífrænt efni vera samsett úr kristölluðum sameindahópum (Micelle) aðgreindum af þunnu vatnslagi. „Die Krystallnatur der Micelle ergibt sich vorzüglich aus dem optischen Verhalten gegen das polarisirte Licht“ segir Nägeli í riti 1879. Ekki voru allir sammála túlkun hans (sbr. D.S.B.) en Zsigmondy (1925, bls. 39, sjá einnig Muralt og Edsall 1930, bls. 352) kveður Nägeli þarna hafa verið langt á undan sinni samtíð í rannsóknum á þessu ástandi lífræns efnis.

Dareste (1871) lýsir ögnum í eggjarauðu sem höfðu kristalla-eiginleika í skautuðu ljósi svipað og sterkja: var þar m.a. um að ræða efnið lecithin, sem síðar reyndist tilheyra flokki svonefndra „fljótandi kristalla“ (kafla 27.2). Engelmann (1875, og síðar) kannaði með skautunarsmásjá áhugaverð atriði í starfsemi vöðvaþráða.

18.4 Silfurberg í mælingum á ljósstyrk, 1850-70 (með forsögu)

Ljósælar (photometers) eru tæki til mælinga á styrk eða afli (intensity) ljóss, og voru slíkir ælar fyrst fundnir upp löngu fyrir 1800 (sjá kafla um P. Bouguer í D.S.B.). Ekki voru þeir áberandi í ljósfræðirannsóknum fyrstu áratugi 19. aldarinnar, en hafa orðið þar mjög mikilvægir síðan, sem og í margskonar tækni og iðnaði. Fram yfir 1920 fór mælingin gjarna þannig fram, að horft var á tvær uppsprettur ljóss hlið við hlið. Styrkur annarrar var þekktur, og hægt að breyta honum eða hinum uns ljósblettirnir voru jafnbjartir.

Einn möguleiki til þess að deyfa ljósgeisla um þekkt hlutfall byggir á tilgátu Malus (líklega um 1810) varðandi styrk þess ljóss sem speglast frá tveim glerflötum eins og í Nörrenberg-tæki (*Mynd 10-2B*). Styrkurinn á að breytast eins og $\cos^2 s$, ef s er hornið sem síðari speglinum er snúið um frá innfallsplani ljóssins á hinn. Ljósælibúnaður af þessu tagi var prófaður af Arago (1835) og síðar m.a. af Jamin (1847), Babinet (1853, sjá Dahlander 1902), Wild (1856) og Crookes (1868) sem bættu við hann Nicol-prismum eða tveggja geisla prismum. Aðferðin virðist ekki hafa verið notuð mikið eftir það, vegna tæknilegra vandkvæða. Þó kynnir t.d. Wild (1888, 1890) nýja útfærslu á mæli sínum og Duboscq (1885) og Pellin (1899) auglýsa endurbættar gerðir af tæki Babinet.

Arago (1833, 1835 og síðar, sjá Lloyd 1834, bls. 384; Wild 1863) staðfesti einnig þá tilgátu Malus (sjá Fresnel 1822b), að ef óskautað ljós fellur á silfurbergskristall, þá verður styrkur annars geislans sem kemur gegnum kristallinn í réttu hlutfalli við $\sin^2 a$ og hins í hlutfalli við $\cos^2 a$, þar sem a er nú hornið milli skautunarplans innfallandi geisla og svonefnds meginshis kristallsins. Þetta mátti nota til breyta styrk ljósgeisla samfelld á þekktan hátt, og mældi Arago (1833) á þann hátt m.a. ljós frá tungli Jarðarinnar og tunglum Júpíters. Talbot (1834) lýsti einnig hugmynd að ljósæli með silfurbergs-strendingum.

Silfurbergs-ljósælar voru síðan búnir til m.a. af Beer (1851, 1852). Í síðari greininni kannaði hann dofnum ljóss í mis-sterkum vatnslausnum ýmissa efna, og fann um hana einfalt lögmál: sá hluti ljóssins sem kemst í gegn um lausnina er neikvætt veldisfall af margfeldi styrks hennar, vegalengdarinnar sem ljósið fer, og stuðuls (Absorptions- eða Extinctions-Coefficient) sem er háður viðkomandi efni og bylgjulengdinni. Þetta var nánari útfærsla reglu sem J.H. Lambert hafði sett fram þegar á 18. öld, og er oft nefnt gleypnilögmál Beers eða Lambert-Beer lögmálið. Það hefur reynt af mikilvægt í efnafræðirannsóknum og á fleiri sviðum.

Síðar smíðuðu þeir Bernard (1852, 1853, *Mynd 18-2*), Provostaye og Desains (1854), Hagen (1859), Dove (1861), Wild (sjá t.d. Wild 1863, *Mynd 18-2*), E. Becquerel (1861, 1867, *Mynd 18-2*), Glan (1870), Lallemand (1871) o.fl. ljósmæla með silfurbergs-prismum til nota í ýmsum tilgangi. Segir Bernard aðferðina vera þá nákvæmstu sem völ sé á til mælinga á ljósstyrk. Til dæmis staðfesti Glan (1874) með mæli sínum lögmál Fresnels um styrk þess ljóss sem endurkastast frá glerflötum undir ýmsum innfallshornum. Becquerel rannsakaði ljómun m.a. silfurbergs og úran-salta, auk þess að kanna útgeislun ljóss frá heitum hlutum. Voru einhverjar útfærslur þessarar mælategundar þróaðar frekar og framleiddar til sölu, t.d. mælir Glans (sbr. *Mynd 18-2*). Sjá nánar í kafla 29.4 og 5.

Zöllner (1861, 1865, 1866) sem hafði áður notað Nicol-prismu í ljósmæli til rannsókna á varmageislun, hannaði þrjár gerðir mæla með slíkum prismum til birtumælinga á fasta- og reikistjörnum. Einnig var ljósmælir þessi að viðbætti kvarsþynnu (Zöllner 1868) notaður lítillega til að flokka 37 stjörnur eftir lit. Sjá nánar í Sterken og Staubermann (2000) og í kafla 29.6.

Loks er þess að geta, að oft er hagstætt í ljósfræði-tilraunum að geta deyft ljósgeisla að vild á handhægan hátt eins og með því að snúa Nicol-prisma, án þess að verið sé að mæla styrk ljóssins. Elsta dæmi um slíkt sem ég hef séð, er í athugunum Hankels (1862) á gleypingu útfjólublárra sólargeisla í ýmsum efnum.



19 Náman við Helgustaði 1850-79

Helstu prentaðar heimildir um Helgustaðanámuna á seinni hluta 19. aldar eru í Landfræðissögu Þorvaldar Thoroddsen (1892-1904), greinum hans (Þorvaldur Thoroddsen 1889, 1890) og Ferðabók (Þorvaldur Thoroddsen 1958-60). Einnig hef ég kynnt mér lauslega efni tveggja skjalamappa í Þjóðskjalasafni: Isl. Journal 16 nr. 368 frá íslensku stjórnardeildinni í Kaupmannahöfn, þar sem eru ýmis bréf og plögg frá árunum 1855-84, og Dagbók 7 frá II. skrifstofu Stjórnarráðsins, mappa 385 sem inniheldur bréf og plögg frá 1885-1908. Skriftin á sumum plagganna er ekki auðlesin fyrir óvana, og þyrfti að skoða þau betur. Einnig er eflaust margskonar efni tengt námunni liggjandi annarsstaðar á Þjóðskjalasafninu, handritadeild Landsbókasafns, og öðrum skjalasöfnum á Íslandi og í Danmörku, sem ég hef ekki gefið mér ráðrúm til að leita uppi.

Fyrstu skipulegu vinnslu í námunni segir Þorvaldur Thoroddsen hafa verið um 1850, þegar Thomsen kaupmaður á Seyðisfirði safnaði litlu magni, væntanlega til útflutnings. Síðan mun Svendsen kaupmaður á Eskifirði hafa leigt námuna af sr. Þórarni Erlendssyni sem átti $\frac{3}{4}$ jarðarinnar Helgustaða (ásamt hjáleigunni Sigmundarhúsum), a.m.k. árin 1855-60 fyrir 10 rd. árlega. Hinn $\frac{1}{4}$ hlutinn var í eigu ríkisins og reikna ég með að Skriðuklaustur hafi átt hann fyrir siðaskipti, en ekki hef ég kannað sögu eignarhalds á jörðinni. Greiddi Svendsen einnig 5 rd. á ári a.m.k. 1855-57 fyrir þann hluta (Lovsamling for Island 16, 1855-56). Eftirlit með námunni var í höndum svokallaðs Umboðsmanns (Administrator) Skriðuklausturs- og Suðurmúlasýslu-jarða. Ofantöldum Svendsen gefur Þorvaldur upphafsstafina H.H. og var danskur maður með því nafni allavega starfandi við verslunina á Eskifirði nokkru áður. Í Norðanfara í júní 1863 er hinsvegar sagt að þarna hafi verið um að ræða Fr. sáluga Svendsen sem samkvæmt gögnum úr Eskju Einars Braga virðist hafa verið heimamaðurinn Friðrik Jónsson, Sveinssonar. Ég hef ekki athugað hvort er réttara.

Í bréfi frá Þ. Péturssyni í Sigmundarhúsum til Administrators B. Skúlasen dags. 15.3. 1860 (Þjskjs.) er nokkuð sagt frá námarekstri Svendsens og tilraunum hans til að selja silfurberg ytra. Þær gengu böxulega í fyrstu (þ.e. 1855-56), en hann slapp þó skaðlaus. Þá þegar hlýtur talsvert magn af góðu efni að vera í boði í Evrópu, því t.d. lýsir Volger (1856; sjá einnig formála W. Haidingers að þeirri grein) suður í Sviss tilraun með að slípa „ein Stück des reinsten und klarsten sogenannten Doppelspathes von Island“ og virðist vera úr nógum Spaltungsstücke að velja. Um þetta leyti auglýsir Optikus Steeg (1857) í Bad Homburg í tímaritinu Annalen der Physik, að hann selji Nicol-prismu í öllum stærðum o.fl. hluti úr silfurbergi. Lítið var síðan unnið í námunni 1857 og 1858 (segir Þ.P.), en 1859 voru fluttir út 70 kassar, alls um 5600 pund. Þá er einnig Albert (1859) í Frankfurt að auglýsa „ausgezeichnet schöne Nicols“, sýningarvélur

fyrir skautað ljós með „ganz grossen Kalkspath-Prismen“ og fleira úr silfurbergi. Samkvæmt skrifi sýslumanns dags. 27.12. 1860 fóru utan það ár 20 commerce læster á einu skipi, 866 pund á öðru, og 12 kassar um 900 pund á því þriðja sem honum var þó ekki tilkynnt um formlega. Í Norðanfara í júlí 1862 er sagt að danskt kaupfar tilheyrandi Svendsen lausakaupmanni hafi brotnað við Helgustaði í hvassviðri um vorið, þegar verið var að ferma það silfurbergi. Mest af því sem upp var grafið, var svonefndur „rosti“ og efni með lituðum skakkröndum sem Þ. Pétursson segir að spilli kristöllum mjög. Þar á hann væntanlega við tvíburafletina sem nefndir voru í kafla 17.2. Plögg um málefni námunnar kringum 1860 á Þjóðskjalasafni eru torlesin, en haustið 1862 var E. Iversen lausakaupmaður að reyna að fá námuna leigða og lét svo vinna þar eitthvað „af kappi“ um veturinn skv. Norðanfara.

C.D. Tulinius, sem var ættaður frá landamæraheruðum Danmerkur og Þýskalands, varð verslunarstjóri Örum og Wulff á Eskifirði um 1860 og keypti verslunina um 1864. Heimildum sem ég hef séð, ber ekki alveg saman um þessi ártöl. Tulinius samdi við sr. Þórarin sem var þá orðinn tengdafaðir hans, um afnot af námunni árin 1863-72 (í byrjun ásamt Iversen), og greiddi ríkinu árlega fyrir sinn snúð. Fyrsti samningur við ríkið var til 5 ára fyrir 100 rd. á ári, síðan til 2 ára á 20 rd. hvort ár, og var það fyrirkomulag framlengt út árið 1871. Mér er óljóst hvort honum bar einhver skylda til að gefa opinberum aðilum upp það magn sem flutt væri út, samsetningu þess eða söluverð. Landshagskýrslur þær sem Hið ísl. bókmenntafélag sá um útgáfu á á þessum árum, nefna stundum um þennan útflutning, t.d. 32 þúsund pund 1866 en ekkert 1867-70. Hessenberg (1866) segir kristalla vera komna héðan í þúsundatali til verkstæða og vinnustofa vísindamanna, sjá Viðauka 1B. Auk verðlista Soleils (1867) sem nefnd hefur verið, auglýsti Lutz (1872) ljóstæki þar sem m.a. eru silfurbergskubbar og ýmsar tegundir Nicol-prisma.

Um 1870 vildu yfirvöld kanna hvort Tulinius stæði forsvaranlega að námarekstrinum, og hvort ríkið gæti ekki fengið af honum meiri arð. Var Fr. Johnstrup prófessor og forstöðumanni steinasafns háskólans í Kaupmannahöfn falið að kanna þessi mál, og skoðaði hann námuna í ferð sinni til landsins til rannsókna á brennisteinsnámum 1871. Þá var Tulinius sjálfur fjarri, í Englandi að selja framleiðsluna. Menn hans unnu það sumar dag og nótt í námunni, og „sprengrja bergið með púðri svo miklu meira áorkast en nokkru sinni áður“ (Norðanfari X, bls. 110). Skýrsla Johnstrups í Þjóðskjalasafni er dagsett 28.11. það ár. Meðal annars telur hann að með þáverandi afköstum manna Tuliniusar sé hætta á að silfurbergið sé bæði selt á of lágu verði og að náman tæmist fljótt. Talar Johnstrup um að hætta ætti vinnslunni um eitthvert árabíl. Einnig hefur hann haft fregnir af því að bæði innfæddir og útlendingar (einkum Frakkar) hafi tínt úr námunni, og geti slíkt valdið skemmdum.

Náman var þó leigð Tuliniusi eitt ár enn, þ.e. 1872, en sýslumanni og umboðsmanni skipað (Lovsaml. f. Island 20. sept. 1871) að hafa gætur á því að hann gangi ekki of hart fram í vinnslunni. Varð einhver rekistefna af því eftirliti, sbr. bréf frá Tuliniusi í Þjóðskjalasafni dags. 2.3. og 12.8. 1872, og einnig vildi hann fá skaðabætur ef hann gæti ekki nýtt sér leigusamning sinn við sr. Þórarin á ¾ hlutunum, sem átti að gilda út 1877.

Stjórnin lét þekja námuna með mól síðla hausts 1872. C.D. Tulinius keypti ¾ jarðarinnar af tengdafaður sínum 1872 eða 1873. Johnstrup skrifaði frekari álitserð 19.6. 1873, og ítrekaði að þarna væri um „enestaaende Naturmærkværdighed“ að ræða sem umgangast þyrfti af varúð. M.a. ræddi hann um hvaða form á eignarhaldi, rekstri og sölu afurða væri heppilegast, og taldi hann hið opinbera ekki eiga að vasast í síðarnefndu atriðunum. Í Alþingisumræðum 1879 er Johnstrup sagður hafa ráðlagt vinnslu 6. hvert ár. G. Aragon sem var á ferð kringum Ísland (að líkindum) sumarið 1875, segir námuna hafa verið lokaða og aðeins einn umsjónarmann á staðnum, en hann og félagar af eftirlitsskipi hafi safnað þar „un nombre assez considérable de fragments de spath“ (Revue des deux Mondes 11, bls. 774).

Á árinu 1875 var síðan lagt fram konunglegt frumvarp á Alþingi um að selja fjórðungshlut ríkisins í Helgustöðum, en það var fellt eftir talsverðar umræður. Þar kom fram tillaga um að kaupa $\frac{3}{4}$ hlutana, en hún náði heldur ekki fram að ganga. Á því þingi lagði Jón Hjaltalín fram frumvarp til laga um „forboð gegn útflutningi á öllum kalksteini, silfurbergi og cementsteinum, samt beinum“ frá Íslandi. Vildi hann nota silfurbergið allt til kalkbrennslu svo byggja mætti heilsusamlegri og endingarbetri íveruhús handa landsmönnum en torfbæi. Taldi hann þetta vænlegri kost en að Tulinius flytti það út „til Englands til soda-vatnsgjörðar“. Jón segir í þeim umræðum „alkunnugt að silfurbergsnáminn hafi verið ruplaður og rændur af útlendingum“ sem hafi „gengið þar í leyfisleysi, og tekið þaðan margar lestir eða jafnvel skipsfarma af hinum fágætasta og besta kalksteini“, og „að Frakkar hefðu eitt sinn rænt 30-40 tons af silfurbergskalksteininum, og býtt honum út á söfn um alla Evrópu“. Ekki varð frumvarpið útrætt, en síðasttalda atburðinn eða annan álíka nefndi Jón í Alþingisumræðum 1879, og átti að hafa gerst 1832 að sögn steindahöndlara í Kaupmannahöfn. Þetta getur verið ýkt, en þó segir É. Jardin um námuna í ferðalýsingu frá Íslandi 1866 (útg. 1874): „...la commission scientifique de la Recherche l’exploita sur une très-large échelle“. La Recherche var skip Gaimard-leiðangursins 1835-36, sjá 14. kafla.



20 Kenning Maxwells um ljósið sem bylgju raf- og segulsviða, upp úr 1860

J. C. Maxwell sem sjálfur kynntist Nicol-prismum á unga aldri og gerði með þeim tilraunir eins og fram kom í kafla 15.3, hafði áfram áhuga á ljósfræði í námi sínu við Edinborgarháskóla (sjá um kennara hans þar í Viðauka 4). Maxwell hefur sjálfsagt fylgst vel með umræðu um ljósvakann og þau vandkvæði sem sú kenning átti við að stríða. Tilraunir Faradays (1845) sem sýndu áhrif segulsviðs á snúning skautunarplans ljóss í efnum, vöktu mikla athygli. Þær voru endurteknar af Verdet (1854, 1856 og síðar) og fleirum með mun meiri nákvæmni, og Maxwell vitnar til þeirra greina í ritum sínum. Kom m.a. í ljós að meðseglandi (paramagnetisk) efni, svo sem járnstólt, sneru planinu í öfuga átt við mótseglandi (diamagnetisk) efni, sjá kafla 30.2.

Maxwell birti á árunum 1861-62 fjórar greinar undir samheitinu „On physical lines of force“, þar sem nýjar hugmyndir hans um raf- og segulsvið eru kynntar. Í þriðju greininni bendir hann á, að tölugildi stærðar sem W. Weber og R. Kohlrausch höfðu leitt 1857 út úr nýlegum mælingum á kyrrstæðum raf- og segulsviðum og hafði víddina cm/sek, væri mjög líkt ljóshraðanum. Í þeirri grein nefnir hann einnig íslenska silfurbergið sem dæmi um misátta efni, hvað rafsvörunarstuðul varðar, og leiðir út formúlu fyrir vægi sem verki á kúlu úr því í rafsviði. Fjórða greinin (Maxwell 1862) fjallar um Faraday-hrifin, og þróar Maxwell þar mikilvægar hugmyndir um hlutverk straumhvirfla í sameindum efnisins sem ættaðar voru frá Thomson (1856).

Maxwell setti stuttu síðar fram byltingarkennda kenningu um það að ljósið væri ekki fjaður-bylgja í ljósvakanum, heldur bylgja af raf- og segulsviðssveiflum (t.d. Maxwell 1864). Bæði sviðin voru hornrétt á útbreiðslustefnu ljósgeisla og á hvort annað, og var þar sjálfkrafa komin fram skýring á skautunareiginleika ljóss. Maxwell leiddi einnig út jöfnur Fresnels fyrir bylgjuútbreiðslu í kristöllum, þ.e. tvöfalda ljósbrotinu. Í lýsingu sinni á tilteknum fyrirbrigðum varðandi hleðslu og rafstraum í þessu samhengi, nefnir hann m.a. athuganir sínar á seigum vökvum (sjá kafla 27.3) sem að líkindum voru gerðar með hjálp Nicol-prisma. Kenning Maxwells fékk lítinn meðbyr fyrstu 15-20 árin og var hundsúð af mörgum: hún var að hluta á tyrfnu stærðfræðilegu formi, og tókst ekki afgerandi betur en ljósvaka-kenningunni að útskýra ýmsa hegðun ljóssins (sjá t.d. bók Poincarés 1889).

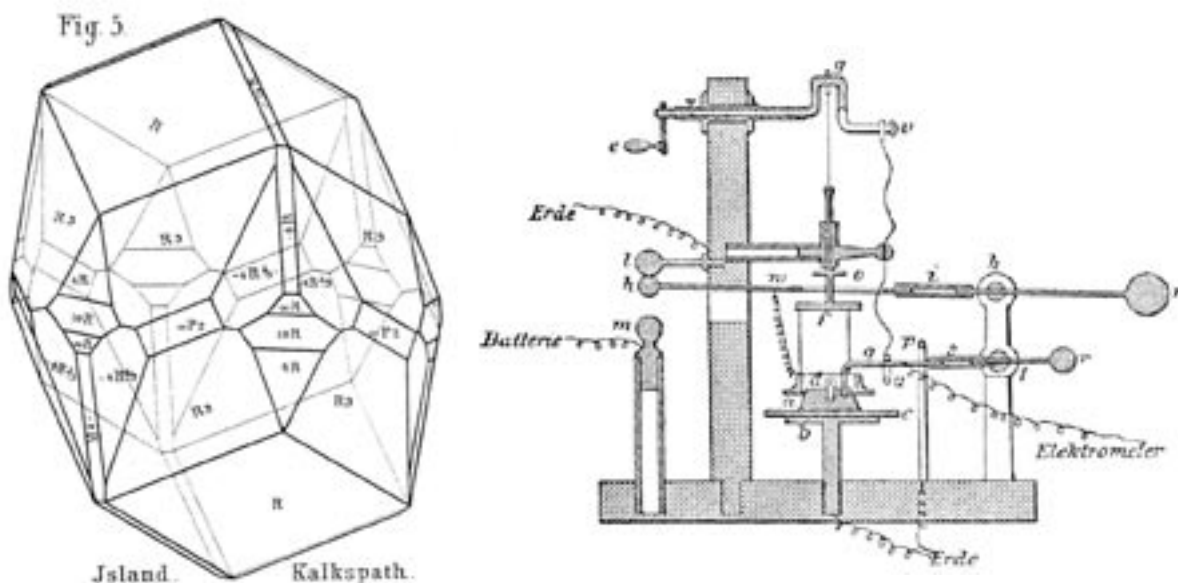


TABLE X.—Theoretical results for the line C.

	θ .	μ From Theory.	μ From Experiment.	Excess of Experiment.
I.	3 20 42	1.65368	1.65367	- 1
I.	2 31 33	1.65393	1.65393	0
I.	1 31 16	1.65422	1.65416	- 6
I.	0 20 35	1.65435	1.65438	+ 3
I.	0 59 31	1.65430	1.65431	+ 1
I.	2 28 17	1.65399	1.65395	- 4
I.	4 5 7	1.65335	1.65335	0
I.	5 48 58	1.65231	1.65223	- 8
I.	7 39 25	1.65082	1.65078	- 4
I.	9 35 35	1.64883	1.64873	-10
I.	11 34 51	1.64635	1.64627	- 8
I.	11 37 2	1.64631	1.64623	- 8
I.	13 36 26	1.64340	1.64335	- 5
I.	15 32 41	1.64018	1.64021	+ 3
I.	17 23 14	1.63678	1.63684	+ 6
I.	19 6 50	1.63332	1.63341	+ 9
I.	20 42 48	1.62989	1.62991	+ 2
I.	22 9 42	1.62660	1.62669	+ 9
II.	22 35 37	1.62560	1.62580	+20
I.	23 27 13	1.62355	1.62356	+ 1
II.	23 34 31	1.62326	1.62352	+26
I.	24 33 38	1.62085	1.62095	+10

Mynd 21-1. Um rannsóknir á silfurbergi. Að ofan t.v.: Teikning Hessenbergs (1874) af íslenskum kristalli, eftir nákvæmar hornmælingar til að finna hvaða fletir komi þar fyrir. Að ofan t.v.: Tilraun þar sem Rowland og Nichols (1881) setja plötur c af kalkspati o.fl. kristöllum í sterkt rafsvið til að prófa vissar afleiðingar kenninga J.C. Maxwells um rafeiginleika efna. Mynd úr Liebisch (1891). Að neðan: Tafla Glazebrooks (1880a) yfir mælingar á óvenjulega brotstuðlinum í silfurbergi sem falli af stefnu, til samanburðar við tilgátu Huyghens og Fresnels. Mæld voru fjögur prisma I-IV við þrjár bylgjulengdir A,B og C úr litrófi vetnis.

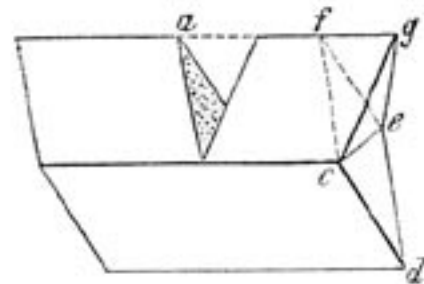
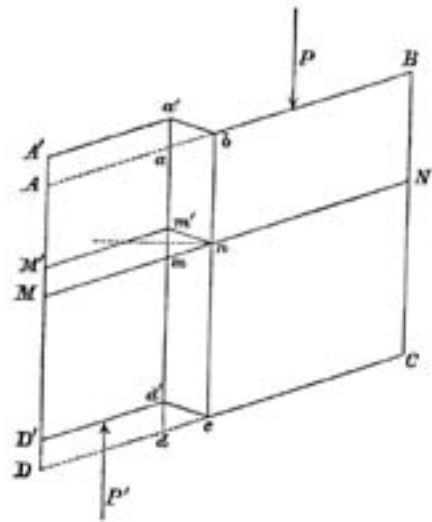
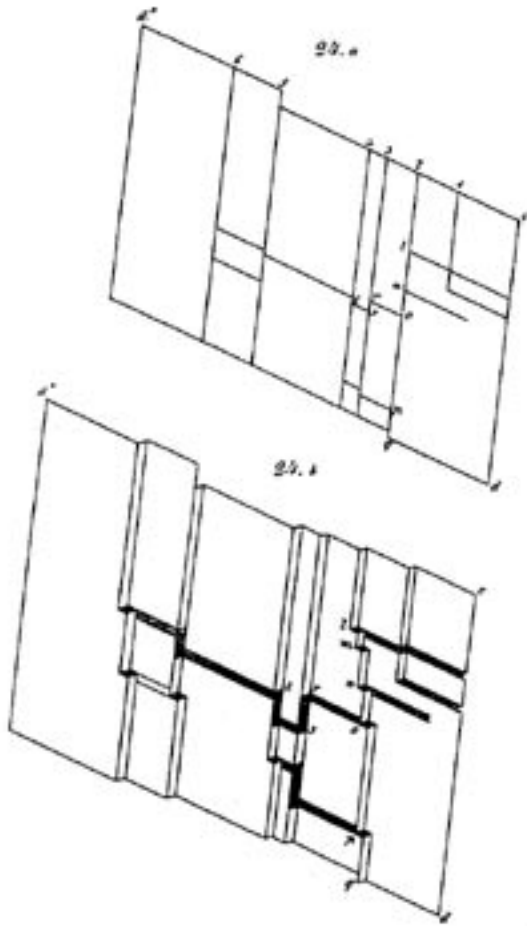
21 Ýmsar áframhaldandi rannsóknir á silfurbergi, 1850-1900

Í almennri þróun kristallafræðinnar gerðist margt um og eftir 1850. Í svonefndri geometrískri kristallafræði setti m.a. A. Bravais fram í þrem stórum ritgerðum um 1850 merkar kennilegar niðurstöður um samhverfu kristalla og skipan þeirra í flokka. C. Jordan mun hafa nýtt sér þær við samningu grundvallarrits á einu sviði svonefndra grúppu-fræða innan stærðfræðinnar 1868 (sjá D.S.B.). Sömuleiðis kom margt nýtt fram í eðlis- og efnafræðilegri kristallafræði. Eru þau málefni of umfangsmikil og flókin til að rekja hér, en vísa má á yfirlitsgreinar og bækur eftir t.d. Arzruni (1893), Jong og Stradner (1954-56) og Lima-de-Faria (1990).

Í köflunum hér að neðan verður lýst nokkrum rannsóknasviðum þar sem athuganir á silfurbergi komu við sögu. Var það að líkindum íslenskt í mörgum tilvikum þótt ekki sé getið um upprunann. Sérhæfð tilraun sem ekki á heima í neinum kaflanna, varðaði uppruna þyngdarkrafts: datt mönnum í hug að hann gæti haft einhverja stefnuvirkni þannig að þyngdartog frá kristölluðu efni væri annað í stefnu ljósáss kristallsins en þvert á. Þetta prófaði Mackenzie (1895) vandlega með kúlum úr „optically perfect calc-spar“, síðar t.d. J.H. Poynting með kvarskúlum um 1900 og P.R. Heyl með ýmsum efnum 1924, en ekki fannst mælanlegur munur.

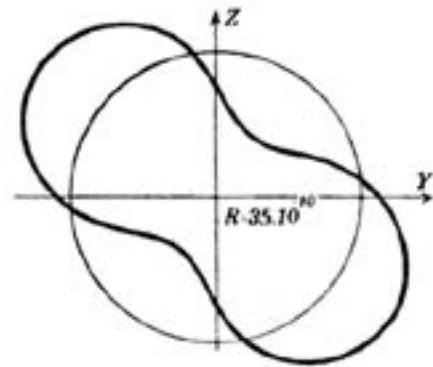
21.1 Kristalform kalkspats; vökvainnlyksur

Hið einfalda grunnform silfurbergsins var vísindamönnum mikilvægt, og ef til vill lá þar ein ástæða þess að Helgustaðanáman varð löngum útundan hvað varðaði rannsókn á öðrum formum sem þar hljóta að hafa komið fyrir. Hugsanlega hafa einnig Svendsen og C.D. Tulinius látið snikka kristallana þaðan til áður en þeim var pakkað niður til útflutnings. Afar margbreytilegum formum (sbr. *Mynd* 5-3) hefur verið lýst frá sumum öðrum vel þekktum fundarstöðum kalkspatkristalla, svo sem Andreasberg í Harz fjöllum í Þýskalandi (sjá Sansoni 1885), meðan Hessenberg (1866) segir um íslenska silfurbergið: „...aber über ... seine eigentliche Krystallgestalt, weiss man dennoch so gut wie nichts“. Þannig eru aðeins örfá íslensk sýni nefnd í hinni mjög ítarlegu samantekt Zippes (1852) um þekkt kristalform kalkspats, og engin 93 mynda með þeirri grein er af kristalli héðan. Svipað er að líkindum uppi á teningnum í ritum af sama toga eftir Hochstetter (1854), Des Cloizeaux (1874), Irby (1878), Jeremejew (1898), og Goldschmidt (1913), en ég hef aðeins séð tilvitnanir í þau verk eða útdrætti þeirra. Helsta gagngera rannsóknin á sýnum af íslensku silfurbergi sem nefnd er



findet sich leicht:

$$\begin{aligned} \gamma_{14} &= -c_{22}cs + c_{23}cs + c_{14}(c^2 - s^2), \\ \gamma_{24} &= -c_{22}c^2s + c_{23}cs^2 + c_{14}2cs(c^2 - s^2) \\ &\quad + c_{22}cs(c^2 - s^2) + c_{23}c^2(c^2 - 3s^2) + c_{24}s^2(3c^2 - s^2), \\ \gamma_{34} &= -c_{22}cs^2 + c_{23}c^2s - c_{14}2cs(c^2 - s^2) \\ &\quad - c_{22}cs(c^2 - s^2) + c_{23}s^2(3c^2 - s^2) + c_{24}c^2(c^2 - 3s^2), \\ \gamma_{44} &= +c_{22}c^2s^2 + c_{23}c^2s^2 + c_{14}(c^2 - s^2)^2 \\ &\quad - c_{22}2c^2s^2 - (c_{24} - c_{34})^2cs(c^2 - s^2), \\ \gamma_{54} &= -c_{22}c^2s + c_{23}c^2s + c_{14}c(c^2 - s^2) \\ &\quad + c_{22}cs^2 - c_{23}cs^2 - c_{14}s(c^2 - s^2), \\ \gamma_{64} &= -c_{22}cs^2 + c_{23}cs^2 + c_{14}s(c^2 - s^2) \\ &\quad - c_{22}c^2s + c_{23}c^2s + c_{14}c(c^2 - s^2). \end{aligned}$$



Mynd 21-2. Um aflögun silfurbergs. Að ofan t.v.: Myndir úr Rose (1868) þar sem hann gerir grein fyrir tvíburapynnum (Zwillingslamellen) á brottfleti af íslensku sýni. Þar sem tvær mætast, koma fram aflöng holrúm gegnum kristallinn. Efst t.h.: Mynd úr grein Reuschs (1867) um myndun hliðrunarflata og tvíbura með skerþrýstingi kraftaparsins PP'. Voigt (1910, bls. 951) kallar þetta “Eine der merkwürdigsten Entdeckungen im ganzen Bereich der Kristallphysik”. T.h. í miðið: Önnur vel þekkt mynd, af tvíburakristalli sem Baumhauer (1878-79) framkallaði í kalkspati með því að ýta með hnífsblaði við a. Að neðan: Formúlur og graf Voigts (1889) við úrvinnslu mælinga G. Baumgartens á fjaðurstuðlum íslenskra silfurbergssýna í mismunandi stefnur.

Í síðari samantektum um kristalform kalkspats, eru greinar Hessenbergs (1866, 1872, 1874, *Mynd 21-1*). Samkvæmt Rath (1867) og Purgold (1881) stilltu Danir út risakristalli um 2 fet að stærð og 1 fet að þykkt á sýningu í París 1867 og lýsir Rath honum stuttlega en segir annars um Ísland: „Man hat bekanntlich nur selten Gelegenheit, wohl ausgebildete Krystalle von jenen Fundorte zu sehen“.

Vísindamenn hafa eflaust lengi veitt því athygli, að vökvabólur koma fyrir í ýmsum kristöllum, og hafa þær á síðustu áratugum orðið áhugavert rannsóknarefni m.a. í hagnýtri jarðfræði (málmleit). Slíkar bólur koma fyrir í íslenska silfurberginu (Brewster 1848b, Tait og Swan 1873-74), en virðast hafa ekki verið mikið kannaðar.

21.2 Varma- og rafeiginleikar; ljósvístur; ljósbrot; ljómun

Fizeau (1862, 1866) mældi mjög nákvæmlega breytingar á lögun silfurbergs o.fl. efna við upphitun, með nýlegri ljósbylgjuvíxla-tækni. Hann ræddi einnig um vensl þessarar aflögunar við breytingar brotstuðlanna með hita, sömuleiðis Müller (1885). Pfaff (1861) og Jannettaz (1873) endurbættu mælingar Senarmonts á varmaleiðni silfurbergs og fleiri kristalla; Jannettaz staðfesti stuttu síðar að varmaleiðni sýna af lagskiptu (schistose) bergi væri háð stefnu eins og í kristöllum. Le Chatelier (1893) mældi varmann sem losnaði við upplausn silfurbergs og aragonits í sýru, til að finna muninn á innri orku þessara efna, en niðurstöður hans voru ekki mjög nákvæmar (Bäckström 1925).

Vísindamenn höfðu einnig áhuga á að mæla breytingu brotstuðuls með bylgjulengd ljóss (ljósvístur, dispersion) í efnum. Þessi breyting er mjög regluleg og í grófum dráttum svipuð fyrir flest efni, svo að upplagt var að leita einfaldrar kenningar eða líkans til skýringar. Í þessu skyni voru tengsl tvístursins við tvöfalt ljósbrot skoðuð sérstaklega, sjá t.d. brotstuðlamælingar á (íslensku) kalkspati gerðar af Esselbach (1856), Mascart (1864), og Willigen (1869), og fræðilegar vangaveltur um tengsl þessara eiginleika (t.d. Challis 1863, Carvallo 1890). Góðar kenningar létu á sér standa fram yfir 1870 (þegar C. Christiansen lýsti fyrstur svokölluðu „óeðlilegu ljósvístri“ í litarefninu fuchsin) og tóku þær enn talsvert mið af tvöfalda ljósbrotinu (Sellmeier 1872, Ketteler 1874). Þær byggðust á því að ljósvakinn togaði með sér efniseindirnar í sveiflum sínum, og hafði raunar Young (1802, bls. 32-33) látið sér detta það í hug. Ekki urðu þær kenningar þó fyllilega trúverðugar fyrr en eftir 1885-90, þegar rafsegul-fræði Maxwells höfðu náð viðurkenningu.

Maxwell varð prófessor í tilrauna-eðlisfræði í Cambridge 1871, og byggði þar m.a. upp hina stórmerku rannsóknastofu The Cavendish Laboratory. Áður höfðu eðlisfræðirannsóknir þar í skóla að mestu beinst að kennilegum þáttum. Dictionary of Scientific Biography (1980-90) tekur fram, að í rannsóknastofunni hafi mikil áhersla verið lögð á gæði og nákvæmni mælinga. Eitt fjögurra verkefna frá árdögum stofunnar sem sérstaklega eru tiltekin í D.S.B., var endurbót á mælingum Stokes (1872) á brotstuðlum íslensks silfurbergs sem nefndar voru í kafla 17.2. Mældi Glazebrook (1880a) óvenjulega brotstuðulinn upp á 5 aukastafi í fjórum 60°-prismum fyrir mörg mismunandi horn milli geislans og ljósássins, og bar saman við fræði Huyghens. Sjá neðri hluta af *Mynd 21-1*.

Romich og Nowak (1874), Root (1876), og Rowland og Nichols (1881) gerðu umfangsmiklar mælingar á raf-eiginleikum kalkspats og fleiri efna með nýjum tækjabúnaði (*Mynd 21-1*). Þetta var m.a. til að prófa kenningar Maxwells og annarra um það hvernig rafmögnun efnanna fylgdi sviðbreytingum. Bæði þeir fyrstnefndu, sem unnu hjá L. Boltzmann, og Root athuguðu hvernig eiginleikarnir væru háðir stefnu, og Boltzmann sjálfur birti rétt áður samskonar mælingar á

misátta brennisteins-kristöllum. Segir Boltzmann (í athugasemd 64 við 3. kafla áður nefndrar greinasýrpu Maxwells um „Physical lines of force“, í 2. útgáfu þýðingar sinnar) þær hafa mjög aukið á trúverðugleika kenninga Maxwells um ljósið. Mælingarnar höfðu þó þann annmarka sem Boltzmann og Root gerðu sér grein fyrir, að rafmögnunarstuðlar efna hafa allmiklu lægri gildi gagnvart hinum snöggu rafsviðsbreytingum í ljósi, heldur en gagnvart lágtíðni-rafsviðum í rannsóknastofu. J. Curie (1889) gerði frekari mælingar á raf-eiginleikum kalkspats en þó einkum kvars. Sjá nánar í Liebisch (1891, 6. kafla).

E. Becquerel (1885, 1886) tók upp að nýju þær rannsóknir á flúrljómun silfurbergs og fleiri efna, sem hann hafði stundað um 1860 og sagt var frá í kafla 17.3. Þess má geta að Henri sonur hans hélt m.a. áfram þessum rannsóknum (ekki þó á silfurbergi) upp úr 1890, og í tengslum við þær uppgötvaði hann geislavirkni úrans 1896 þegar hann var að leita að venslum milli ljómunarinnar og hinna nýfundnu geisla Röntgens. Becquerel (1886) dró þá ályktun af tilraunum, að ljómun silfurbergs gæti stafað frá mangan-atómum sem eru til staðar í því í örlitlu magni, og hefur það verið staðfest með síðari rannsóknum (sjá aftast í Viðauka 2).

21.3 Silfurberg og varanleg aflögun og ummyndun kristalla

Brewster (m.a. 1848b) vakti athygli á ljósblettum og ljóshringjum sem stundum sáust í silfurbergi og fleiri kristöllum. Þetta fyrirbrigði var raunar þekkt frá fornu fari og nefnt asterismus. Nokkuð var skrifað um það og hugsanlegar orsakir (Volger 1856, Kobell 1862, Haushofer 1865, Baumhauer 1869, o.fl.), en þau skrif leiddu ekki beint til mikilvægra uppgötvana svo ég viti. Blettirnir eru sjálfsgagt í mörgum tilfellum tengdir svonefndum hliðrunarflötum sem nú verður sagt frá.

Tvíburakristallar og tvíburapynnur, sem oft sjást í steindum, voru lengi vel talin hafa myndast einvörðungu meðan kristallarnir voru að vaxa við útfellingu úr lausn. Um 1860 komu fram tilgátur m.a. frá H.W. Dove og F. Pfaff um það að tvíburar gætu orðið til síðar, við þrýsting. Reusch (1866-67, 1867) sýndi síðan fram á, að búa mætti þá til í íslensku silfurbergi með því einfaldlega að pressa plötur af því saman í skrúfstykki (*Mynd 21-2*). Þessi uppgötvun vakti mikla athygli, og hafði sjálfsgagt áhrif á umfjöllun um önnur kristölluð efni. Til dæmis segir H. Laspeyres í grein um antimon-kristalla 1870, að tvíburar í þeim séu „...nach dem von G. Rose angegebenen Gesetze (Zwillingssebene $-1/2 R$) gebildet und erinnern deshalb vollkommen auf die Zwillinge des Kalkspathes von Island, Auerbach u.s.w.“. Um uppgötvun Reuschs tekur Groth (1905, bls. 245) svo djúpt í árinna að segja: „Die weitaus interessantesten und theoretisch wichtigsten Erscheinungen bietet jedoch der Kalkspat dar...“. Baumhauer (1878-79, 1883) bætti um betur og bjó til tvíburakristall með því að ýta á kant einfalds kalkspat-strendings með hníf (*Mynd 21-2*). Frekari rannsóknir á þessu fyrirbrigði voru gerðar af Brezina (1880), Linck (1883), Thomson (1888-89) og fleirum, m.a. með ætingartilraunum (sjá kafla 28.1).

Svonefndum hliðrunarflötum (Gleitflächen, slip planes) hafði einnig fyrst verið lýst af Reusch í fyrrnefndum sýnum hans af kalkspati (silfurbergi), og öðrum sem hann hafði hamrað á með kjörnara (sjá Scharff 1870). Rose (1868) skoðaði sýni af íslensku silfurbergi, sem mjó holrúm sáust í, og höfðu Brewster o.fl. veitt slíkum holrúmum í kalkspati athygli áður. Rose sannreynði (*Mynd 21-2*) að þau kæmu fyrir þar sem tveir hliðrunarfletir skærust. Þessir fletir, sem hafa aðrar stefnur en klofningsfletir og tvíburarfletir, voru síðan mikið rannsakaðir í silfurbergi og öðrum formum kalkspats (t.d. Gümbel 1880, Purgold 1881, Mügge 1883, Lehmann 1886a, Cesaro 1890, Kenngott 1892, Voigt 1899, Wernadsky 1899, Friedel 1902, og rit tilvitnuð af þeim).

Menn áttuðu sig smátt og smátt á því, að hinar ýmsu tegundir tvíburamyndunar og varanlegrar aflögunar kristalla megi skilgreina út frá rúmfræði og samhverfu-eiginleikum. Liebisch (1887) benti m.a. á að sú aflögun kalkspats og fleiri kristalla sem koma mátti til leiðar með aðferðum Reuschs og Baumhauers, samsvari því sem í fjaður-fræðum hafði verið nefnt „einfache Scherung“. Aflögunarfletir kristalla hafa haft afar mikla þýðingu í efnisfræðum (materials science) almennt. Segir t.d. Voigt (1899) í tilvitnaðri grein sinni, að ef kalkspat sé ekki alltof frábrugðið öðrum efnum, „...so wird man schliessen dürfen, dass bei allen Deformationen fester Körper innermoleculare Bewegungen von meist erheblicher Grösse stattfinden“. Í jarðfræði juku þessar uppgötvanir skilning á aflögun kristalla í náttúrunni, svo sem við myndun fellingsfjalla (sjá t.d. Adams og Nicolson 1901; Brauns 1903, bls. 388-389; Bauer 1904) og í hreyfingum jökuliss (sjá McConnel og Kidd 1888, Tutton 1908). Nánar er fjallað um þessi mál í bók Groths (1905); yfirlitsgrein Johnsens (1913) nefnir fleiri tilraunir af svipuðu tagi á silfurbergi og öðrum kristöllum.

Becker (1886) gerði tilraunir með upphitun íslensks silfurbergs, aragonits og fleiri tegunda kalsíumkarbonats undir þrýstingi til að skoða umbreytingarferli þeirra. Af niðurstöðum sínum og fyrri rannsækenda eins og G. Rose og H. Debray á sjöunda áratugnum, dró hann ýmsar ályktanir m.a. um ummyndun kalksteins-jarðlaga.

21.4 Fjaðurstuðlar og silfurberg, um 1870-90 og forsaga

Eins og fyrr var nefnt, stóð umræða um það allt frá því fyrir 1840, hve marga fjaðurstuðla (Youngs stuðla, skerspennu-stuðla, torsions-stuðla o.s.frv.) þyrfti í hverju samhverfu-kerfi kristalla, til að lýsa eiginleikum þeirra gagnvart bylgjuhreyfingu eins og hljóði eða ljósi. Navier, Cauchy og Poisson höfðu reiknað með að kraftar milli hverra tveggja efnisagna stefndu alltaf beint milli þeirra. F.E. Neumann (1834 og síðar) sannfærðist um að sú skoðun dygði ekki, gera yrði ráð fyrir ská-kröftum einnig. Stakk hann upp á aðferðum til að prófa þetta, sem W. Voigt og aðrir nemendur hans útfærðu síðan.

Baumgarten (1874) mældi ítarlega fjaðurstuðla í stautum skornum mjög nákvæmlega úr íslensku silfurbergi, með tilliti til misátta hegðunar efnisins. Vater (1886) gerði einnig rannsóknir á fjaðurstuðlum kalkspats. Voigt (1889, sjá *Mynd 21-2*) sem vann úr mælingum Baumgartens, getur þess að kalkspatkristallar hafi verið þeir fyrstu sem þess konar rannsóknir voru gerðar á, en matarsalt o.fl. efni fylgdu fljótlega á eftir. Í ritgerð Voigts um þessi mál 1898 kemur orðið „tensor“ fyrst fyrir í nútíma skilningi þess mikilvæga hugtaks eðlisfræðinnar.

Timoshenko (1953, bls. 248-9) o.fl. segja niðurstöðu Voigts (1887 og síðar) hafa verið þá, að með tilteknum forsendum til einföldunar þurfi í gleri 2 fjaðurstuðla, í kubiskum kristöllum 3, og í þeim kristöllum sem hafa minnsta samhverfu, 21 stuðul eins og Green (1842b) hafði talið. Í silfurbergi þarf 6 stuðla, og í kvasi 7.



22 Þróun tækja og nýjar rannsóknir með þeim, um 1870-90

22.1 Prismu 1870-90

Þróun Nicol-prisma og tækja með þeim ásamt öðrum búnaði úr silfurbergi og fleiri steindum hélt áfram á árunum 1870-90. Af nýjungum má telja greinar eftir Bertin (1870), Cornu (1870, endurbót á hálfskuggaprisma Jelletts), Adams (1875), Bosanquet (1876), Lang (1881, dichroskop), Glazebrook (1883a), Bertrand (1884b), Ahrens (1885), Madan (1885) og Thompson (1886). Sjá *Mynd 12-1*.

Einnig má nefna lýsingu P. Glans (1880) á þeirri endurbót á Nicol-prismanu, sem mun vera mest notuð (í ýmsum afbrigðum, *Mynd 12-1*) síðustu áratuginna. Í Glan-prismanu fer geislinn sem nota á, beint í gegn, en í upphaflega Nicol-prismanu hliðrast hann til. Jafnframt er sá geisli miklu nær því að hafa línulega skautun yfir allt sjónsviðið heldur en geislinn í upphaflegu gerðinni, minna af ljósinu speglast burt, og Glan-gerðin er styttri en hin fyrir sama sjónsvið.

Yfirlit yfir helstu gerðir skautunarprisma úr silfurbergi eru í Feussner (1884) og Grosse (1890). Í fyrrnefndu greininni er einnig fjallað um tegundir þar sem reynt er að spara hráefnið sem mest, sbr. 33. kafla hér á eftir.

22.2 Polarimetrar í rannsóknum og iðnaði, um 1870-1900

Á árabílinu 1870-1900 var safnað miklu af gögnum um optiska virkni í lífrænum efnasamböndum s.s. sýrum, alkóhólum, esterum, olíum, sykur- og sterkjuefnum, gallefnum, próteinum, og afleiðum af mörgum þeirra, í ýmsum leysiefnum. Bók Landolts (1898; fyrsta útgáfa kom 1879) gefur yfirlit um mælingar á yfir 700 efnum, sumar mjög ítarlegar. Bækur til að kynna þessa og aðra notkun skautaðs ljóss komu einnig út (t.d. Sidersky 1895, Pellat 1896). Mælingarnar komu væntanlega að miklu gagni við rannsóknir í eðlisefnafræði, lífrænni efnafræði, og almennri lífefnafræði, sem og í efnaíðnaði þar sem viðkomandi efni voru unnin, smíðuð, eða notuð í framleiðsluferlum (sjá t.d. Jeancard og Satie 1901 um ilmólíur). Hér verður dregið á nokkur framfaraspor þar sem optiska virknin skipti máli.

Sem dæmi má rifja upp svonefnd alkaloid-efni úr jurtaríkinu sem sagt var frá í kafla 18.1. Polarimetrar voru notaðir talsvert við rannsóknir á þeim; m.a. mældu O. Hesse og ýmsir fleiri

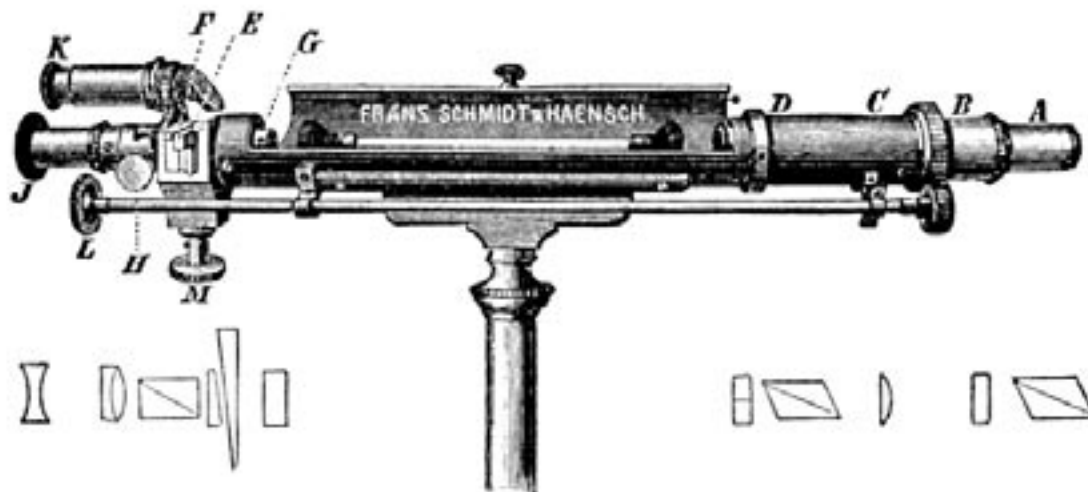
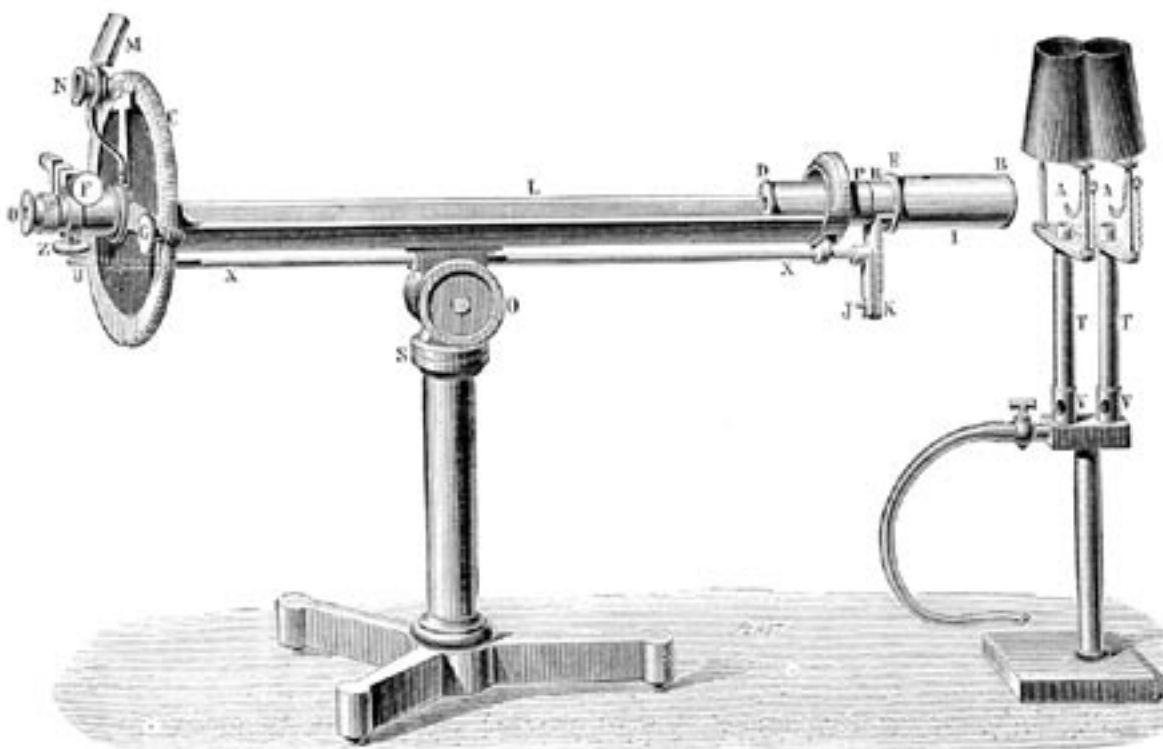


FIG. 22. — SOLEIL-VENTZKE-SCHIEBLER TRANSITION-TINT SACCHARIMETER.

- | | |
|--|---|
| <p><i>A.</i> Shows position of Nicol of tint producer.</p> <p><i>B.</i> Position of quartz plate of tint producer.</p> <p><i>C.</i> Position of polarizer.</p> <p><i>D.</i> Position of transition-tint plate.</p> | <p><i>F, E, G.</i> Quartz-wedge compensator.</p> <p><i>H.</i> Adjustment device of analyzer.</p> <p><i>J.</i> Eyepiece.</p> <p><i>K.</i> Reading-glass of scale.</p> <p><i>L.</i> Pinion for setting sensitive-tint producer.</p> <p><i>M.</i> Pinion for moving wedge.</p> |
|--|---|



Mynd 22-1. Að ofan: Sakkárimeter-tegund endurbætt af C. Scheibler um 1870, með þrem Nicol-prismum. Vökvasýnið er í glerröri undir nafni framleiðandans. Í stað þess að snúa greiniprismanu, færir athugandinn stóra kvarsfleyginn inn eða út til að upphefja ljóssnúning sýnisins. Myndin er úr Rolfe (1905). Að neðan: Hálfskugga-polarimeter Laurents (1874, 1879) fyrir einlitt ljós, sem var vinsæll m.a. í sykuriðnaði áratugum saman. Mynd úr Sidersky (1895).

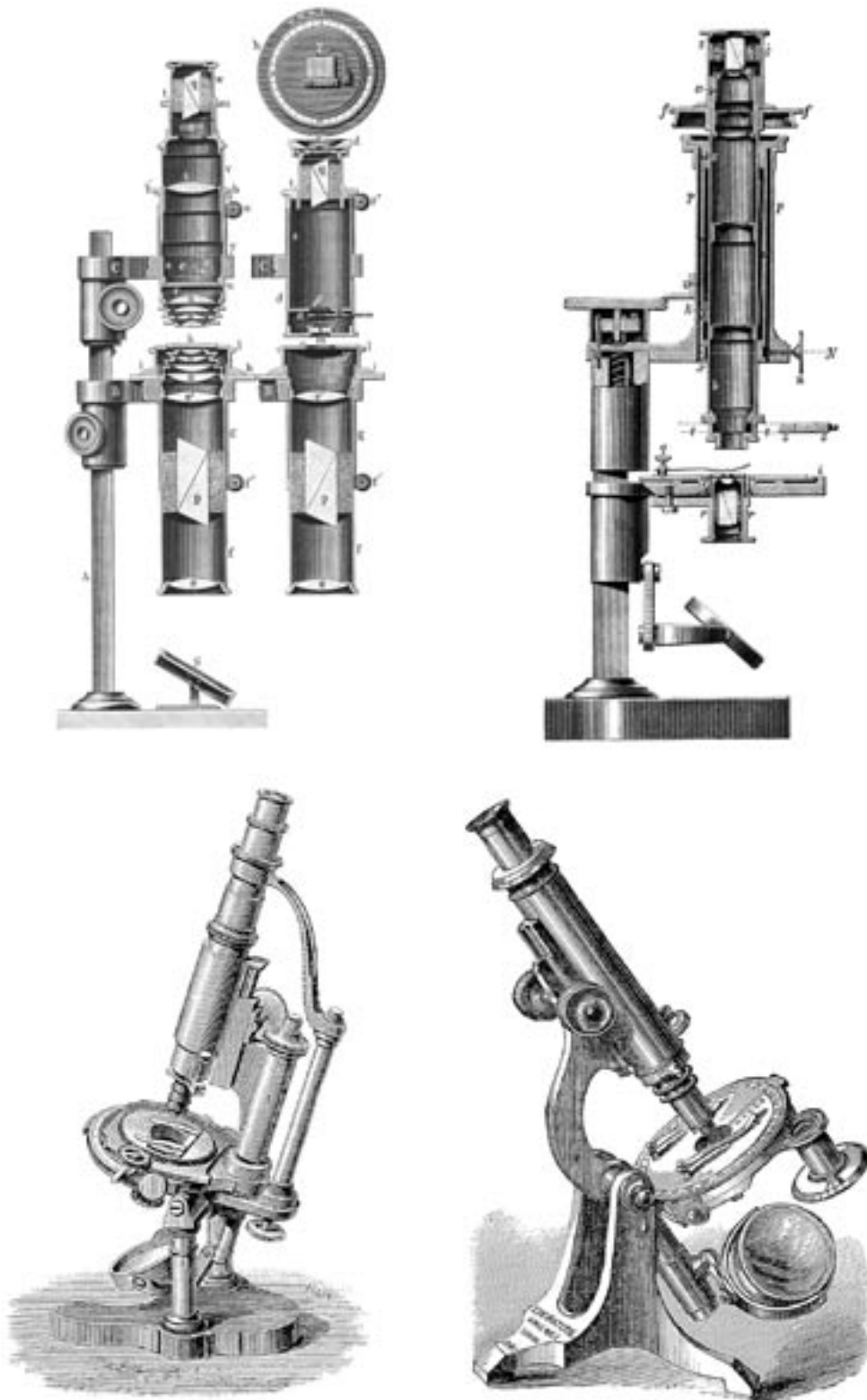
Þannig fjölmörg slík efni á ofanefndu árabili (s.s. Hesse 1876, sjá bók Landolts 1898). Grimaux (1881) fékk staðfest m.a. með polarimeter og skautunarsmásjá, að kódein sem hann hafði búið til úr morfíni, væri eins og náttúrulegt kódein. Varð það lykilatriði í framleiðslu kódeins og skyldra efna. Fyrsta alkaloid-efnið sem tókst að smíða frá grunni í rannsóknastofu (Ladenburg 1886) var einnig sannreynt með polarimeter: það var eitrið coniin sem kemur fyrir í óðjurt og er einkum frægt vegna æviloka heimspekingsins Sókratesar. Will og Bredig (1888) fylgdu með polarimeter eftir umbreytingu hyoscyamins í atropin af völdum basa.

Annað dæmi eru rannsóknir á svonefndum terpen- og kamföru-hópum efna. Á meðal þeirra eru fjölmörg efni úr blómum, ávöxtum, grænmeti, fræjum, rótum, barnálum, viðar-terpentínu og viðarkvoðu, sem fólk kannast einnig við t.d. í ilmvötum, sápum og öðrum snyrtivörum, sælgæti (piparmynta o.fl.), og kryddi. „La série camphénique... est l'une des plus intéressantes de la Chimie organique“ segir þekktur efnafræðingur, M. Berthelot, í grein 1891. Þar lögðu G. Bouchardat, E. Beckmann, H. Landolt, A. Haller (t.d. 1892) og F. Tiemann (1895, o.m.fl.) hönd á plóginn ásamt mörgum öðrum, og þeir könnuðu einnig fleiri tegundir efna. Sum þessara efna eða afleiður af þeim hafa optiska virkni, og notuðu vísindamenn þá polarimeter-mælingar talsvert m.a. við að prófa hreinleika þeirra. Mælingarnar gátu einnig gefið vísbendingar varðandi sameindabyggingu efnanna. Einkum voru það rannsóknir O. Wallachs og samstarfsmanna (t.d. Wallach 1888, Wallach og Conrady 1889, Wallach 1891) í meira en aldarfjórðung frá 1885, sem juku skilning á eðli þessara hópa, sjá Viðauka 5. Sú þekking varð snemma á 20. öld grunnur að stóriðnaði þar sem slík efni voru búin til í margfalt meira magni og iðulega á mun ódýrari hátt en með því að vinna þau úr viðkomandi plöntum. Samsetningu þeirra mátti stýra, meðan t.d. náttúrulegar jurtaolíur eru nokkuð breytilegar að gerð eftir jarðvegi, veðurfari og vinnsluáferðum (Landolt 1898, bls. 578-583) og geta innihaldið efni sem spilla æskilegum eiginleikum (sjá O. Wallach, Nóbelsgerindir 1910).

Enn eitt dæmi um merkar rannsóknir á skyldu sviði var það þegar tókst að búa til vanillin, $C_8H_8O_3$. Þetta aldehyð gefur kryddefninu vanillu, sem finnst í baunum plöntu nokkurrar, mest af lykt sínu og bragði. Vanillin hefur ekki optiska virkni. Fyrirnefndur Tiemann og W. Haarmann (1874) fundu að við oxun varð optískt virka efnið coniferin, sem fæst í miklu magni úr barrtrjám, að sambandi vanillinsýru og glúkósa, einnig með optiskri virkni. Sýruna mátti svo losa frá sykrinum og breyta henni í vanillin. Haarmann fékk einkaleyfi á aðferðinni og setti upp verksmiðju í heimabæ sínum til að framleiða vanillin og síðar fleiri ilm- og bragðefni. Það fyrirtæki mun enn vera stærsti framleiðandi slíkra efna í Þýskalandi. Reikna má með að polarimetrar hafi komið að einhverju leyti beint við sögu þessarar uppgötvunar, og framleiðslunnar.

Rannsóknir með polarimetrum fóru fram á margskyns öðrum lífrænum efnum, til dæmis mjólkursýru sem gegndi merku hlutverki í sögu hugmynda um þrívíð kolefnistengi kringum 1874 (sjá kafla 16.2) og er mikilvæg bæði í efnaskiptum dýra og í ýmsum iðnaði. Purdie og Walker (1892) fundu aðferð til að skipta mjólkursýrunni upp í hægri og vinstra afbrigðið, og dugði aðferðin næstu áratugina við frekari rannsóknir á þessari sýru. Currie (1911) fann síðar, að þótt algengast sé að örverur myndi óvirka blöndu hægri og vinstri mjólkursýru úr kolvetnum, er það ekki einhlítt: til eru örverur sem aðeins mynda aðra þeirra.

Kamfóra er samheiti á kvoðu úr tilteknum trjátegundum. Einkum eru það tvö hitabeltistré, sem úr fást lítillaga mismunandi efni (Borneó- og Japan-kamfóra). Báðar tegundir eru leysanlegar í lífrænum leysiefnum og hafa þá optiska virkni. Fjórar tillögur um byggingu kamföru-sameindarinnar voru settar fram á árunum 1893-98 og tókst Aschan (1901) að ákvarða hver þeirra væri sú rétta, að hluta með hliðsjón af optiskri virkni tiltekinna afleiddra efna.



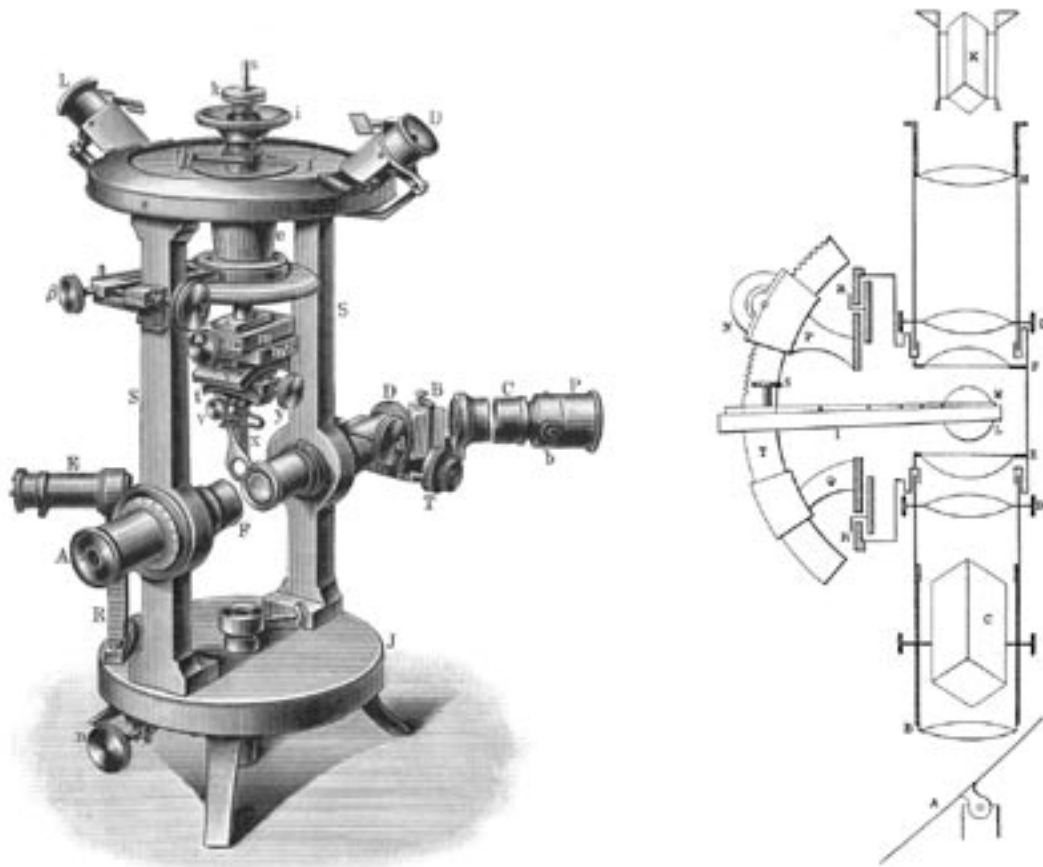
Mynd 22-2. Sumar af fyrstu fjöldaframleiddu bergfræðismásjámum með Nicol-prisnum. Að ofan t.v.: Smásjá Groths (1871), sem mátti nota ýmist til að skoða þunnarneiðar (vinstra megin) eða sem stauroskop til að skoða einstaka kristalla á pallinum m (hægra megin). T.h.: Smásjá Rosenbusch (1876). Báðar voru smíðaðar af R. Fuess. Myndir úr Groth (1885). Að neðan t.v.: Smásjá líklega frá A. Nachet, lýst af Fouqué (1876). T.h.: Ný smásjá smíðuð af W. Watson, sem Rutley (1879) skrifar lofsamlega um.

Kamfóran og afleiðurnar af henni voru m.a. hráefni í ýmis lyf, en upp úr 1875 fékk hún nýtt og stórt hlutverk sem annað aðalefnið í celluloid. Celluloid var fram eftir 20. öldinni notað í allskyns nytjahluti og leikföng, og kom þar m.a. í stað filabeins, skelplötu, harðviðar og horns. Einnig var celluloid notað í lökk og ljósmyndafilmur, svo og í allar kvikmyndafilmur lengi eftir að bíóiðnaður hófst að ráði um 1895. Skipti þar að sjálfsögðu meginmáli í samanburði við eldri glerplötur, að filmurnar mátti vinda upp á spólur. Við celluloid-framleiðsluna hafði "...die leichte Bestimmbarkeit des Camphers in seinen Lösungen auf optischem Wege ... eine grössere praktische Bedeutung erlangt" að sögn Landolts (1898, bls. 452), enda var það árum eða áratugum saman eina nothæfa aðferðin til mælinga á kamfórumagninu (t.d. Förster 1890). Þegar stríð Rússa og Japana 1904-05 olli skorti á kamfóru, var hún að hluta búin til í verksmiðjum úr optískt virka efni sem er uppistaðan í terpentínu úr barrtrjám og þessvegna ódýrt. Nokkrar mismunandi aðferðir voru til þess, byggðar á efnafræðilegri byggingu sem að hluta hafði aflast með polarimeter-mælingum (t.d. Bertram og Walbaum 1894). Verksmiðjuframleiðslan varð þó ekki arðbær fyrr en einhverntíma eftir 1910, og brátt tóku önnur efni að koma þarna í stað kamfórunnar. Celluloid vék svo fyrir enn nýjum gerviefnum, m.a. vegna þess að það lyktaði ekki vel og var eldfimt.

Þótt það hljómi einkennilega nú, var deilt um það a.m.k. fram undir aldamótin 1900, hvort jarðolía væri mynduð úr lífrænum leifum eða á ólífrænan hátt t.d. úr karbíð-efnum í jarðskorpunni (Walden 1900, bls. 198; Neuberg 1908; Stewart 1919, bls. 244, o.m.fl.). Í sumri jarðolíu mældist smávegis optísk virkni, og leysti það úr málinu því öll þekkt optískt virk efni í náttúrunni komu úr lífverum. L. Pasteur hafði á hinn bóginn talið að ekki yrði hægt að smíða nein hendin efni frá grunni í rannsóknastofum, en Jungfleisch (1873) tókst það með vínsýru: ýtti það sjálfsgagt við fleiri efnafræðingum að fara inn á þetta svið (sjá t.d. Landolt 1898, bls. 110 og yfirlitsgrein Waldens 1900).

Sú aðferð sem Pasteur fann upp og beitti á vínsýru 1858, að láta örverur um að sundurgreina hægri- og vinstri-gerðir sama efnis úr blöndu þeirra, var lítt prófuð næstu tvo áratugina en áhuginn óx eftir að Le Bel (1878) nýtti hana á amyalkóhól. Birtir Werner (1904) lista með yfir 20 efnum sem þannig hafði tekist að skipta upp, og var m.a. myglusveppurinn *Penicillium glaucum* notaður í þessu skyni. Hægri- og vinstri-snúandi efni reyndust í sumum tilfellum hafa mismunandi áhrif á lífverur; var það mál kannað frá mörgum hliðum (sjá t.d. yfirlit í Stewart 1919, bls. 243-256) og er enn til umræðu.

Hvað varðar þróun mæliaðferðanna má benda á, að sakkarimeter byggður á hönnun Biots sem K. Ventzke og J.B. Soleil (1847) höfðu endurbætt fyrir 1850, var þróaður frekar m.a. af C. Scheibler um 1870 (skv. Sidersky 1895, bls. 147, o.fl. heimildum). Með síðari viðbótum frá verkstæði Schmidt & Haensch (*Mynd 22-1*) varð hann einn algengasti mælirinn í notkun um 1890. Flóknari útfærsla er í Glan (1891). Laurent (1874, 1879) bætti mjög hálfskugga-aðferð Jelletts og Cornus (úr *Mynd 18-1*) í polarimetrum til mælinga á snúningi skautunarplans. Duboscq (1885) kveðst einnig hafa fundið upp hálfskugga-sakkarimeter 1872, og Pellin (1899) og Bruhat (1930, bls. 109) segja Prazmowski (1873) hafa verið fyrstan til að lýsa slíkum búnaði fyrir hvítt ljós. Eftir nákvæmar prófanir (t.d. Luynes og Girard 1875) var notkun þessara tækja (*Mynd 22-1*) í frönskum sykuríðnaði og tollheimtu staðfest með lögum og reglugerðum, m.a. til notkunar í sjö opinberum sykursmælingastofum fyrir innlenda framleiðslu og fimm í innflutningshöfnum (Girard 1877). Voru þau tæki á markaðnum áratugum saman. Poynting (1880) stakk upp á einföldun á tækjum Laurents, og framleiðendur komu með nýjar útfærslur eins og til dæmis sammiðja skugga-hringboga í stað skugga-hálfringanna (sjá Pellin 1903). Auk sykuríðnaðarins (sjá t.d. Dubrunfaut 1870) voru sakkarimetrar ómissandi í öl- og víngerð, sterkju-iðnaði, og rannsóknnum í matvæla- og lyfjafræði (Rolfe 1905). Mæld voru vökvasýni í staðal-glerrörum, oft 20 cm löngum, en til voru polarimetrar sem gátu mælt sýni í öðrum ílátum,

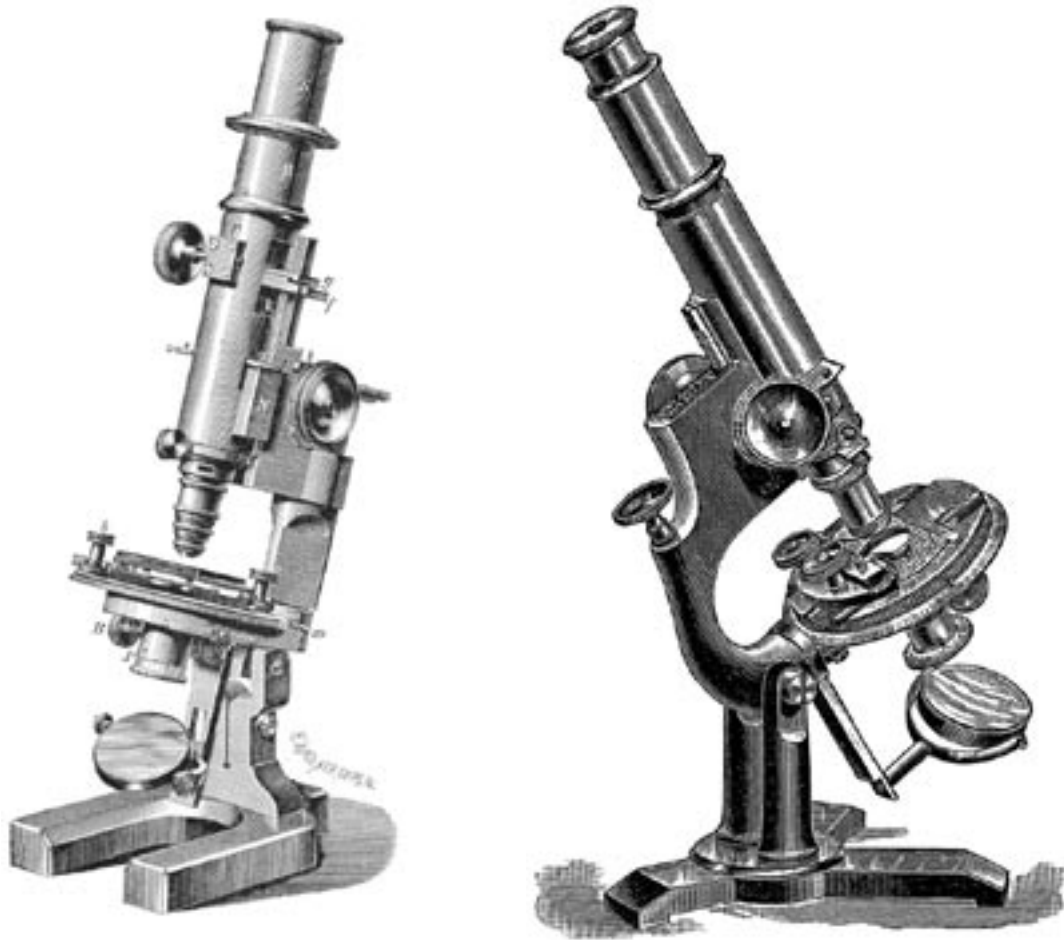


Mynd 22-3A. Tæki fyrir mælingar á horni milli ljósása í einstökum kristöllum. T.v.: Tæki með tvístursprisma B til að geta mælt hornið við mismunandi bylgjulengdir. Nicol-prismu eru við P og A. Tækið var uppfundið af Liebisch (1885) og framleitt af R. Fuess, mynd úr Lummer (1909). T.h.: Þversnið af einfaldari búnaði Adams (1879).

jafnvel 1 m og lengri. Einnig komu fram sérhæfðir sykursýkis-mælar fyrir þvag (t.d. Yvon og Duboscq 1880, Fleischl 1885, Duboscq 1885, Pellin 1899).

Lippich (1882, 1885; Landolt 1883) fann upp nýja hálfskugga-tækni með því að bæta litlu auka-Nicolprisma inn í ljósganginn öðru megin í polarimetrinum. Sjá nánar um þá mæla í kafla 29.2. Polarimeter Wilds, sem nýtti bylgjuvíxl fremur en hálfskugga-tækni (sjá kafla 18.1) var fjöldaframleiddur frá því um 1870 eins og nefnt hefur verið (sjá Wild 1870; Landolt 1873, 1876). Hálfskugga-mælar voru hinsvegar víða orðnir nær einráðir um 1895 (Landolt 1898, sbr. Sidersky 1895 og Rolfe 1905).

Af öðrum sérhæfðum búnaði má nefna, að Cornu (1882, 1890) kynnti tæki með Wollaston- og Nicol-prismum til að mæla hlutfall skautaðs ljóss af heildarljós magni, t.d. í endurköstuðum geisla. Cornu stakk jafnframt upp á notkun þessa „photopolarimètre“ við ýmsar athuganir á ástandi andrúmsloftsins, sem jafnvel gætu komið að gagni við veðurspár. Tækjasmíðurinn Pellin (1899) framleiddi þetta tæki til sölu a.m.k. kringum aldamótin, og útbjó einnig á árinu 1900 sérstaka litrófssjá með silfurbergsprisma fyrir Adam Paulsen vegna rannsókna á norðurljósum (Boutaric 1916) en Paulsen var einmitt við slíkar rannsóknir á Akureyri veturinn 1899-1900. E.C. Pickering (1886) sem nánar verður frá sagt í kafla 29.6, fann upp skautunarmæli með

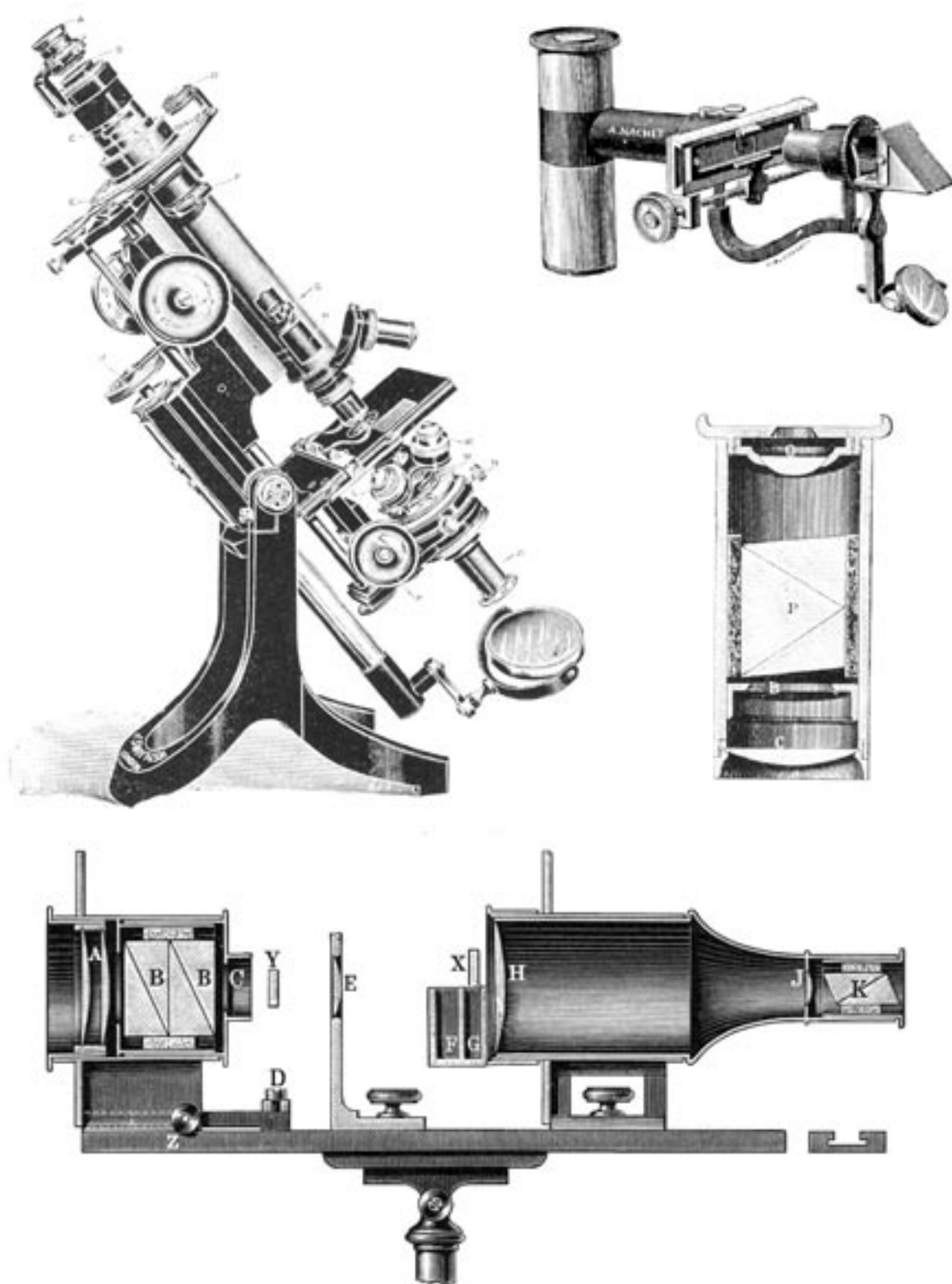


Mynd 22-3B. Bergfræðismásjár í þróun. T.v.: Smásjá Rosenbusch (1885), endurbætt frá 1876. T.h.: Smásjá Williams (1888).

silfurbergspötu til nota við rannsóknir í veður- og stjarnfræði, en sú útfærsla gleymdist svo næstu hálfu öldina.

Í tengslum við margskonar rannsóknir og lækningar er mikilvægt að geta auðveldlega mælt magn glúkósa í blóði, en það magn er lítið og þær ýmsu mæliaðferðir sem reynt var að nota, urðu fyrir truflunum frá öðrum efnum. Þetta gildi líka um mælingar með polarimetrum (skv. umræðu í J. Pharm. 29, 500-506, 1879), en þeir áttu samt þátt í framförum á þessu sviði næstu áratuginna. Þar má nefna m.a. staðfestingu á tilvist maltósa-sykurs í blóði (sjá Lépine 1911), og prófun á tilgátum um að í blóði og meltingarfærum væri glúkósinn bundinn öðrum efnum (Michaelis og Rona 1908) eða á mjög hvarfgjörnu formi (Creveld 1923, o.fl.). Hliðstæð vandamál við mælingar veikra sykurlausna komu upp víðar, t.d. í ávaxtasafa.

Við stórvinnslu og flutninga á sykurefnum, sterkju o.fl. komu polarimetrar enn við sögu. Til dæmis hélt Gayon (1877, 1882) áfram fyrri rannsóknum A. Béchamps (kaflí 16.2) og A.P. Dubrunfauts (kaflí 22.1) á áhrifum örvera á sykur og á hráefni til sykurvinnslu, og leitaði leiða til að draga úr þeim áhrifum. Er ljóst af greinum Gayons, að menn voru í vaxandi mæli meðvitaðir um mikilvægi þess að þekkja vel efnin sem notuð voru í sykuriðnaði og að halda þeim hreinum. Síðan má nefna pentósana arabinósa og xylósa, sem má vinna úr ýmsum gúmmí- og hlaupkenndum náttúru efnum (t.d. Scheibler 1873), stönglum og rótum jurta, berki, klíði, hálmi o.s.frv. Annað dæmi varðar þrísykrunginn raffinósa sem var fyrst einangraður 1876 úr afgangsykurleðju (mélasse). Hann er til staðar í örlitlu magni ($< 0,02\%$) í sykurrófum, en



Mynd 22-4. Ýmsar nýjungar. Að ofan t.v.: Bergfræðismásjá Dicks (1889) með endurbótum, framleidd af J. Swift. Mynd úr Johannsen (1914). T.h. ofar: Búnaður með tveim Nicol-prismum og kvarsþynnu fyrir bergfræðismásjár, uppfundinn af Michel-Lévy (1883) til að mæla mismun brotstuðla í þunnsneiðum. Mynd úr Nachet-verðlista 1891. T.h. neðar: Sérhæft greiniprisma Abbes (1885) úr gleri og silfurbergi, innbyggt í augngler smásjáa. Neðst: Myndvarpi með stórum Senarmont- og Nicolprismum, fyrst smíðaður af J. Duboscq (Bertin 1875) en endurbættur af V. v. Lang. Ljós kemur frá vinstri, kristalþynnur m.a. til sýnikennslu eru settar við X eða Y. Mynd úr Verdet-Exner (1887).

við lok sykurvinnslunnar er hann orðinn umtalsverður hluti af þessari leðju. Scheibler (1885) og Tollens (1886) sýndu fram á það m.a. með polarimeter, að raffínósinn væri sama efnið og tvö sem voru þekkt úr kvoðu eucalyptus-trjáa og úr bómullarfræjum, og hann fannst svo víðar í jurtaríkinu. Með aukinni þekkingu á þessum samböndum og öðrum þeim skyldum, gátu fundist verðmæt not fyrir ýmis afgangsefni úr landbúnaðarframleiðslu sem áður voru jafnvel „ein zeitweise geradezu verachtetes und lästiges Abfallproduct“ eins og fram kemur í minningargrein um Scheibler í riti þýska efnafræðifélagsins 1900: sum höfð til skepnufóðurs eða áburðar, eða brennd.

Rétt er að geta þess, að polarimetrar voru alls ekki einu tækin sem menn höfðu til mælinga á sykurlausnum í sykuriðnaðinum. Sjá um það í kafla 35.3.

22.3 Optísk virkni í rannsóknum á byggingu sameinda, 1880-1900

Áður nefndur J.A. Le Bel (t.d. 1891), síðar Ph.-A. Guye og samstarfsmenn (t.d. Guye 1892, Guye og Chavanne 1896), P. F. Frankland, J.H. van't Hoff, A.C. Oudemans, C.S. Hudson, T.S. Patterson og fleiri reyndu fram til 1930 að tengja mæliniðurstöður á optískri virkni lífrænna vökva og lausna á magnbundinn hátt við áætlaða lögun viðkomandi sameinda, einkum við það hversu ósamhverf massadreifingin í þeim væri. Megintilgátan sem var stundum kennd við „optical superposition“ hvatti mjög til nýrra tilrauna á þessu sviði að sögn Landolts (1898). Samkvæmt Rolfe (1905, bls. 249) var hún „of vital importance“ við vissar rannsóknir á byggingu sykurefna, og undir það tekur bók Lowrys (1935, bls. 274-277). Sykur-bækur Pringsheims (1925, bls. 146-150) og Bates o.fl. (1942, bls. 428-435) telja einnig reglur sem Hudson setti fram á grundvelli þessara kenninga, vera mjög gagnlegar við efnasmíð á því sviði. Superposition-tilgátan reyndist þó hafa að sumu leyti takmarkað gildi (sjá Walden 1900, bls. 171; Wittig 1930, bls. 111; Haworth og Hirst 1930; Freudenberg og Kuhn 1931; Lowry 1935, bls. 278), m.a. vegna þess að dreifing rafhleðslu í sameindunum hefur áhrif á optísku virknina ekki síður en dreifing massa. Ýmis atriði tengd þessum málum voru mikið rannsökuð, til dæmis áhrif mismunandi leysiefna á virknina. Umræða um heppilegan rithátt fyrir byggingaformúlur kolvetnissambanda, sem var einnig að hluta tengd túlkun á ástæðum optísku virkinnar, stóð í áratugi.

Mælingar Guyes o.fl. voru gerðar með gulu natriumljósi eingöngu, en til þess að fá marktækari upplýsingar um byggingu sameindanna var nauðsynlegt að kanna breytingar optísku virkinnar með bylgjulengd (snúningstvistur, optical rotatory dispersion). J.B. Biot hafði fundið að í flestum efnum jókst virknin hratt með hækkandi tíðni ljóssins, en tók eftir því 1838 að í stöku efnum (s.s. lausnum af vínsýru) breytist hún á óreglulegri hátt með tíðninni. Þetta fyrirbrigði (dispersion rotatoire anormale) var rannsakað nánar af öðrum, einkum A. Cotton (1895b, 1896) sem notaði tæki með Nicol-prismum og Fresnel-glerprismum (sjá kafla 8.1), og af T.M. Lowry og samstarfsmönnum. Cotton benti á hliðstæðu þess við skrítna hegðun brotstuðuls (dispersion anormale) lausna af vissum litarefnum sem C. Christiansen hafði fyrstur veitt athygli um 1870 eins og nefnt var í kafla 21.2.

Cotton (1895a, 1896) fann sömuleiðis, að ýmis föst efni og vökvar með optísku virkni gleyptu meira af ljósi sem var hring-skautað á annan veginn en hinn. Þessi hrif sem stundum eru kennd við Cotton en oftast kölluð „circular dichroism“ tengjast snúningstvístrinu og gefa oft gleggri upplýsingar um sameindirnar en það gerir; um 1940 áttu rannsóknir á þeim til dæmis þátt í bættum skilningi á ljóstillifun, því að blaðgræna er eitt þeirra efna sem sýnir Cotton-hrif

(sjá Mathieu 1956). Þau útheimta hinsvegar flókin tækjabúnað, sem ekki tókst að framleiða svo almennt gagn yrði að, fyrr en 1960 (sjá Douglas 1994).

W.H. Perkin eldri, sem hafði gert merkar uppgötvanir varðandi efnafræði litarefna, hóf upp úr 1880 að starfa sjálfstætt að rannsóknum á Faraday-hrifum í lífrænum sameindum sem lítið höfðu verið rannsökuð nema af De la Rive (1871). Hann ritaði margar greinar (t.d. Perkin 1884, 1896) um mælingar sínar, sem sýndu m.a. fram á einföld vensl milli fjölda CH_2 -hópa í sameind og snúningsáhrifa hennar á einlitt ljós í segulsviðinu. Hann velti einnig fyrir sér túlkun slíkra mælinga út frá byggingu þessara sameinda, og einn kollega skrifaði honum 1906 (skv. kaflanum um Perkin í D.S.B.): „You created a new branch of science“. Sjá einnig Joubin (1889) o.fl. og kafla 30.2.

Margt var skrifað um ástæður fyrir optiskri virkni kristalla á seinni hluta 19. aldar, m.a. af Sohncke (1876) og Barlow (1897). Kom þar iðulega við sögu tilraun Reuschs (1870) sem lagði fjölda glimmerþynna hverja ofan á aðra þannig að ljósás hvernar þynnu myndaði 60° horn við ása þeirra næstu. Slíkur stafli reyndist snúa skautunarplani ljóss á sama hátt og kvars, og styrkti þetta tilgátu Fresnels um að optiska virknin stafaði af einhverskonar spirál-byggingu innan kristalla. Á 19. öldinni fundust ekki tvíása kristallar sem sýndu optiska virkni, og færðu sumir fyrir því fræðileg rök (sjá Rev. Gén. Sci. 14, 1018-1019, 1903) meðan aðrir kenndu um margskonar tæknilegum örðugleikum og „optiskum anomalium“ (Pockels 1906, bls. 301-303). Það gaf þó vísbendingu um væntanlega tilvist þeirra, að kvars varð tvíása undir þrýstingi en hélt optiskri virkni sinni (Mach og Merten 1876). Loks tókst Pocklington (1901) að finna slíka virkni í súkrósa-kristöllum úr monoklina kerfinu og Seignette-salti (öðru nafni Rochelle-salti), sem er orthorhombískt Na-K tartrat. Aðrir bættu brátt fleiri efnum við. Kom síðar í ljós að af hinum 32 samhverfu-flokkum kristalla gátu fimmtán flokkar (úr öllum sjö kristallakerfunum) haft þennan eiginleika, nefnilega þeir ellefu sem höfðu ekkert samhverfu-plan (sjá Tutton 1922, bls. 1272) og fjórir aðrir. Aðeins hafði verið sýnt fram á optiska virkni í kristöllum úr sjö flokkum um 1960 (Handbuch der Physik, Band 25/I, bls. 83) en Lowry (1935, bls. 340) segir að öll efni sem hafi optiska virkni í lausn, hafi hana væntanlega einnig sem kristallar.

Í framhaldi af uppgötvun sinni á tridymiti sem sagt var frá var í kafla 18.2, fann G. vom Rath aðra kristallagerð kvars 1887 og kallaði cristobalit. Le Chatelier (1889) rannsakaði ýmsa eiginleika kvars við upphitun og fann að þeir breyttust á viðsnúanlegan hátt við 570°C , meðal annars optiska virknin og brotstuðlar (með áðurnefndri mæliaðferð Fizeaus og Foucaults 1845). Það reyndist vera afleiðing breytingar á kristalbyggingunni úr því sem nú kallast alfa-kvars í beta-kvars, og eru kvarstegundir vom Rath's myndaðar við enn hærri hitastig. Þetta voru merk skref í þekkingaröflun um ástand og eiginleika kísiloxíða við háan hita og þrýsting. Sú þekking er mikilvæg t.d. í bergfræði og ekki síður í iðnaði: þannig eru til dæmis tridymit og cristobalit uppistaðan í svonefndum „silica bricks“ til innri einangrunar ofna við glergerð o.þ.h. Einnig varð kvars síðar eitt hráefnanna í postulíni sem var útsett fyrir miklu hitaálagi, meðal annars í rafkertum flugvélamótora.

J.A. Le Bel og fleiri voru farnir að hugleiða það fyrir 1890, hvort ósamhverfar sameindir (með optiska virkni) gætu myndast kringum önnur frumefni en kolefni. Gaf einkum hegðun köfnunarefnis í lífrænum efnasamböndum tilefni til ályktana um að það hefði þrívíð tengi. Sjá kafla 27.5 um þróun á því sviði næstu áratuginna.

Miklar framfarir urðu í rúmfræðilegri kristallafræði á árunum kringum 1890, og byggðu þær að hluta á þeim fræðum C. Jordans sem nefnd voru fremst í 21. kafla. Áttu þar m.a. drjúgan hlut að máli L. Sohncke (1879) og W. Barlow sem nefndir voru hér rétt áðan, en auk þeirra má nefna A. Schoenflies (1888) og E. v. Fedorow sem jafnframt innfærði merkar nýjungar í skautunarsmásjám. Þessar framfarir stuðluðu síðan að bættum skilningi á eðlisfræði kristalla (sjá m.a. Liebisch 1891, Voigt 1910) og að tæknilegri hagnýtingu þeirra. Til dæmis er vöntun á

tiltekinni samhverfu forsenda þrýstirafhrifa í kristöllum, svipað og gildir um optisku virknina: Seignette-saltið sem nefnt var hér rétt áðan, var einmitt notað í hljóddósir plötuspilara og í hljóðnema vegna þess eiginleika. Það var rannsakað ítarlega með skautuðu ljósi og fleiri aðferðum (t.d. Valasek 1922). W.G. Cady fann kringum 1922, að með hjálp þrýstirafhrifa í sérstaklega skornum kvarsplötum mátti fá fram rafrásir með mjög vel afmarkaðri hermitíðni. Átti það m.a. þátt í miklum framförum í útvarps-fjarskiptum næstu áratugi. Má sjá t.d. af einkaleyfum að menn fengu þá jafnframt áhuga á að nýta kvars kristalla á ýmsan hátt í sjónvarpstækni, stundum ásamt Nicol-prismum. Ekki hef ég þó kannað þau mál að gagni.

22.4 Smásjár og önnur bergfræði-ljóstæki, um 1870-90

Groth (1871) lýsir bergfræðismásjá með tveim Nicol-prismum sem R. Fuess í Berlín hafði smíðað fyrir hann gagnert til athugana með skautuðu ljósi (*Mynd 22-2*). Fuess smíðaði aðra (e.t.v. einfaldari) smásjá 1870 fyrir H. Rosenbusch og varð hún síðar safngripur; endurbættri gerð var lýst af Rosenbusch (1876) og hófst um það leyti fjöldaframleiðsla á henni (sjá einnig Girard 1875, Rosenbusch 1892, 1904). Smásjía-framleiðandinn E. Hartnack í París auglýsir skautunarbúnað fyrir tæki sín í verðlista 1872, og F. Fouqué og A. Michel-Lévy voru farnir að birta greinar um smásjárskoðun þunnarneiða með aðferðum Zirkels og félaga um 1874-75. Þeir rituðu síðan ásamt A. Lacroix margt um steindafræði og bergfræði gosbergs. Enn einni smásjá með Nicol-prismum var lýst af Lasaulx (1878), en í smásjá Nodots (Tissandier 1877) var glerplötuspegill notaður sem skautari. Fleiri verkstæði voru byrjuð að framleiða bergfræðismásjár með tveim Nicol-prismum fyrir 1880 (Fouqué 1876, Rutley 1879, *Mynd 22-2*). Á árinu 1880 varð W.H. Bulloch fyrstur til að framleiða slíkar smásjár vestanhafs (Winchell 1889) og fleiri bættust þar við fljótlega (sjá Williams 1888, Kile 2003, *Mynd 22-3B*). Mikilvægar nýjungar komu fram á sjónarsviðið, einkum til að skoða einstök korn í þunnarneiðum í samleitnu ljósi, sjá t.d. Bertrand (1878 og síðar), Michel-Lévy (1877, 1883, *Mynd 22-4*), Mallard (1882) og lárétta smásjá Dufets (1886). Hinn þekkti sjöntækjahönnuður E. Abbe (1885) og fleiri prófuðu að hafa silfurbergs-greiniprisma af sérstakri gerð milli linsa augnglersins í smásjám (*Mynd 22-4*), en vankantar reyndust á því (sjá Calderón 1878, Köhler 1926, bls. 914-915, 940-941, Ambronn og Frey 1926, bls. 102). Nánar má fræðast um þessa þróun í yfirliti eftir Fouqué (1879), í bók Rosenbusch sem nefnd var, og í bók Johannsens (1914).

Auk smásjía voru á þessum áratugum framleidd önnur tæki með Nicol-prismum til steindafræðirannsókna. Áður var minnst á stauroskop sem notuð voru til mælinga á stefnu ljósása í kristalþynnum, og voru þau endurbætt af Brezina (1867), Groth (1871, *Mynd 22-3*), Calderón (1878) og Laspeyres (1882), með sérstakri silfurbergsplötu. Þessi tæki voru framleidd a.m.k. til 1920, sjá Tutton (1922, bls. 974 og 1159) sem segir stauroskop Groths vera „the most efficient form of polariscope for the measurement of extinction angles“. Er þar átt við horn milli samhverfuáss kristalls og sveiflustefnu línulega skautaðs ljóss í honum við tiltekin skilyrði, t.d. í þunnarneið. Stærð þessara „slökkvi-horna“ reyndist vera breytileg með efnasamsetningu tvíása kristalla, og sama gilti um horn milli ljósása þeirra. Viðameiri tæki til mælinga á áshornunum (Achsenwinkelmessungen) voru útbúin af Groth (1871), Adams (1879, *Mynd 22-3A*), Becke (1879), Fuess (sjá Bauer 1882), Liebisch (1885, *Mynd 22-3A*), og Mülheims (1888). Önnur voru til þess að mæla brotstuðla kristalla og annarra efna nákvæmlega, s.s. svonefndir totalreflektometrar eftir F. Kohlrausch (1878, sjá einnig W. Kohlrausch 1879), Bauer (1882), Pulfrich (1887, sjá Mülheims 1888) og Abbe (sjá Leiss 1898a). Sumar gerðir allra þessara tækja voru framleiddar til sölu, sjá síðar.

Með bættri tækni og samanburðarmælingum gátu skautunarsmásjár í vaxandi mæli nýtt til efnagreiningar steinda á árabílinu fram til aldamótanna. Má þar sérstaklega nefna plagioklasfeldspatröðina sem vikið var að í kafla 18.2 (sjá t.d. Des Cloizeaux 1875, Schuster 1881), en einnig pyroxen- og amfiból-hópana. Í ljós kom almennt með smásjargreiningunum, að ýmsar steindir sem áður voru aðeins þekktar í sýnum frá fáeinum stöðum, voru í raun algengar í jarðskorpunni (Tschermak 1894, bls. 5). Sömuleiðis kom í ljós hvernig mismunandi steindir fylgdust gjarna að í bergi, hvaða breytingar urðu á steindum þess við ummyndun, o.m.fl. Hafði þetta meðal annars í för með sér endurskoðun á flokkun bergs. P. Hautefeuille (1880), F. Fouqué (1882), A. Michel-Lévy og fleiri bjuggu til í rannsóknastofu kringum 1880 ýmsar steindir og jafnvel heilu bergtegundirnar eins og blágrýti, auk loftsteina. Eftir 1890 var því starfi þeirra haldið áfram af H. Moissan (Nóbelsverðlaunahafa í efnafræði 1906) sem tókst m.a. að framleiða í rafmagnsofnum demanta og slípiefnið karborundum.

C. Ahrens sem nefndur var í kafla 22.1, og e.t.v. aðrir munu hafa sett saman nokkur stór Nicol-prismu (allt að 7-9 cm í þvermál) og tveggja geisla prismu meðan kristallar fengust til þess. Voru þau líklega einkum notuð í tæki til sýnikennslu varðandi kristalla- og steindafræði. Sjá umfjöllun í Cheshire (1906-07) og bók Tuttons (1922, bls. 848-860). Fjölhæf sýningarvél með stórum primum sem J. Duboscq smíðaði (Bertin 1875), var síðar endurbætt af V. v. Lang (Verdet-Exner 1887, bls. 132; Lummer 1909, bls. 854), sjá *Mynd* 22-4. Mach (1875) og Govi (1880) útbjuggu sýningartæki fyrir skautunar-fyrirbrigði í kristöllum þar sem greiniprismað var látið snúast hratt, og voru þau framleidd til sölu (t.d. Pellin 1899).

Af notkun skautunarsmásjáa í líffræði á þessu árabíli, má nefna rannsóknir Ebners (1874, 1882 o.fl.) á byggingu beina og tanna. Nútíma kennslubækur í vefjafræði segja þessar smásjár einnig hafa komið að gagni við að skoða t.d. vöðva, bandvef, og efni eins og kólesteról (sem er fljótandi kristall, sjá kafla 27.2) en ekki hef ég fundið út hvenær það hófst.

Um 1880 hófu ýmsir að rannsaka blaðgrænu (chlorophyll), meðal annars vegna flúrljómunar hennar en þó að sjálfsögðu einkum vegna þess hve hún er áberandi í jurtaríkinu. Það gekk lengi erfiðlega því blaðgrænan er fremur óstöðugt efnasamband, erfitt er að láta hana kristallast, og henni fylgja jafnan ýmis skyld litarefni eins og karotin og xanthophyll. Borodin (1883) sýndi með skautunarsmásjá fyrstur fram á, að sum af þessum litarefnum (Nebenpigmente) gætu myndað „unzweifelhafte doppeltbrechende Krystalle“.

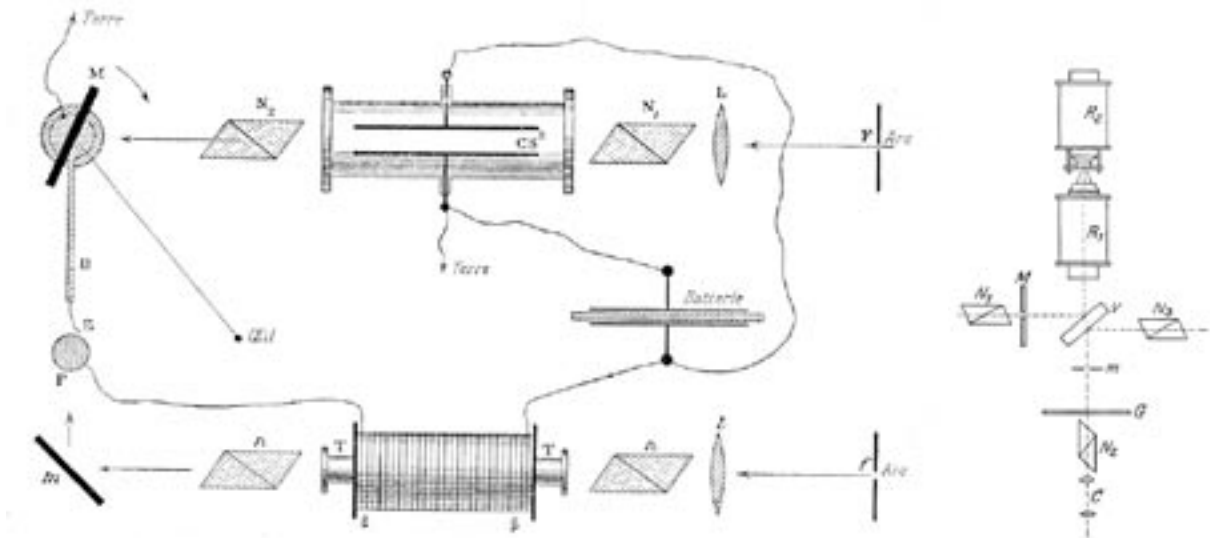
23 Áhrif rafsviðs og segulefna á skautun ljóss, 1875-1900

J. Kerr (1875, 1879, 1880, *Mynd 23-1A* og mynd í Leó Kristjánsson 1996) tókst að sýna fram á það, að ef línulega skautað ljós fór gegnum sum glær efni eins og gler og vökva (með ósamhverfum sameindum) í sterku rafsviði sem var hornrétt á ljósgeisla, kom fram tvöfalt ljósbrot í vökvanum. Þessi áhrif, sem voru yfirleitt ekki mikil en mis-sterk eftir efnum og í hlutfalli við annað veldi sviðstyrksins, voru nefnd Kerr-rafhrif eða „electro-optic effect“. Þau vöktu athygli þótt nokkur ár liðu uns þau fengu frekari staðfestingu af Röntgen (1880), og voru þau síðan könnuð af G. Quincke, R. Blondlot (1888), Kerr sjálfum (1888, 1894) og fleirum. Vökvarnir CS₂ og nítróbensen sýndu einna sterkust Kerr-hrif, og komu þau að ýmsum notum á næstu áratugum, sjá 38. kafla.

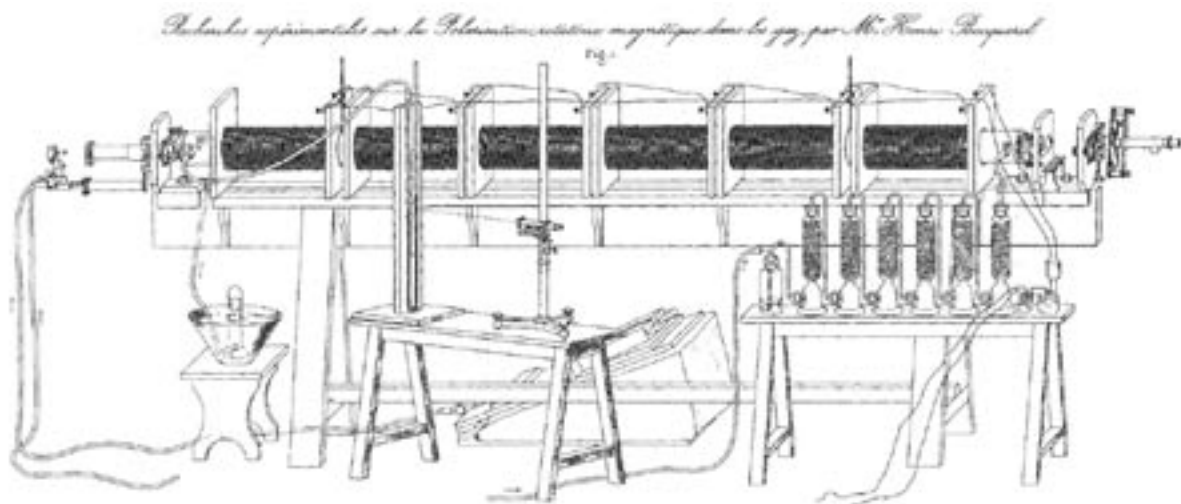
Önnur skyld rafhrif á ljós sem aukast í réttu hlutfalli við sviðstyrkinn, voru líklega fyrst uppgötvuð í kvarsi af W.C. Röntgen (1883) og A. Kundt, en eru kennd við F. Pockels (1890, 1894, 1906) sem rannsakaði þau mjög ítarlega. Í þeim hrifum breytist skautunarástand ljóss á leið gegnum misátta kristall af völdum sterks rafsviðs. Pockels-hrifin koma aðeins fyrir í kristöllum sem sýna þrýstirafhrif. Sjá nánar í kafla 39.6.

Kerr (1877, 1878) uppgötvaði einnig ný segul-áhrif á ljós þegar hann lét línulega skautaðan ljósgeisla speglast hornrétt frá slípuðum fleti járn í kjarna rafseguls. Varð ljósið ellipsuskautað við þetta, því meir sem efnið var meira segulmagnað. Uppgötvun þessara hrifa vakti ekki síður athygli en rafhrifin, og var meðal annars leitað að tengslum þeirra við svonefnd Hall-hrif (þverrafsvið sem myndast í rafstraums-leiðara í segulsviði) sem fundust um svipað leyti. Segulhrif Kerrs voru könnuð nánar af E.H. Hall (1881), A. Kundt (m.a. 1884), A. Righi (1885, 1886, 1887, *Mynd 23-1A*), H. du Bois, P. Zeeman, D. Goldhammer og fleirum kringum 1890 (sjá Drude 1900a, bls. 412-419). Þau aukast eftir því sem viðkomandi efni er meira segulmagnað: fundu menn til dæmis, að í segulmettuðu járn snerist skautunarplan ljóss um sem svaraði 20000°/mm.

Á ofanefndu árabili var jafnframt haldið áfram rannsóknum á Faraday-hrifunum, t.d. af H. Becquerel (1877, 1880, *Mynd 23-1B*) í mörgum tugum fastra efna, vökva og lofttegunda; sjá einnig um W.H. Perkin í kafla 22.3. Sohnecke (1886) sannreynði að hrifin verkuðu á ljós á álíka hátt og snúningur þess í kvarsi. Þessi raf- og segulhrif vöktu eflaust upp ýmsar hugleiðingar um eðli ljóss og efna, en ekki hef ég kynnt mér álit manna á því hvort þau juku fylgi eðlisfræðinga almennt við rafsegulkenningar Maxwells um ljósið (sjá kafla 20). Þó finnst mér það líklegt, og má þar t.d. benda á að fyrsta ritsmið G.F. FitzGerald (1877) í vísindariti fjallaði um segulhrif Kerrs: FitzGerald varð brátt öflugur stuðningsmaður rafsegulfræðanna. Sjá nánar um þau mál í kafla 28.4



Mynd 23-1A. T.v.: Rafhrif Kerrs (1875) eru sýnd á efri hluta teikningarinnar (úr Bouasse 1925). Ljós kemur frá hægri gegnum Nicol-prismað N_1 og ílát með CS_2 , en stoppar í N_2 sem snýr hornrétt á N_1 . Ef háspenna er síðan tengd við þéttisplötur, kemst hluti ljóssins alla leið að speglinum M. Blondlot (1888) er hér að prófa hvort þessi rafhrif séu sneggri en segulhrif Faradays (á neðri hluta teikningarinnar). T.h.: Ein af mörgum tilrauna-uppsetningum Righis (1885, 1886) við könnun á segulhrifum Kerrs (1877, 1878). Hér eru þrjú Nicol-prismu, fjórðungsplatan m og glerplatan V notuð við að mæla snúning skautunarplans ljóss sem speglast frá járnfleti skauts segulsins R_2 .



Mynd 23-1B. Tækjauppsetning Becquerels (1880) til að mæla Faraday-áhrif í lofttegundum. Vinstra megin er gaslogi og “un très beau prisme de Nicol” 4,5 cm á kant. Snúningur skautunarplans ljóssins í níu ferðum eftir rörinu, sem er 3 m að lengd og þéttundið með straumvír, er síðan mældur með öðru Nicol-prisma hægra megin.

24 Silfurbergsnáman 1879-95

Árangurslausar viðræður stjórnvalda við C.D. Tulinius um áframhaldandi rekstur silfurbergsnáunnar fóru fram 1875-76 (Bréf ráðgjafans fyrir Ísland til landshöfðingja, Stjórnartíðindi B, 16.12. 1876). Síðan virðist lítið hafa gerst uns Alþingi samþykkti á árinu 1879 að ríkið keypti 3/4 Helgustaða fyrir allt að 16 þús. kr. Voru gefin út lög um heimild til þess í september. Söluandvirðið fór til G. Petersens gróssera í Kaupmannahöfn, sem Tulinius mun hafa verið skuldugur. C.D. Tulinius gerði ríkinu 7.10. 1879 tilboð um að hann sæi um áframhaldandi rekstur námunnar og sölu silfurbergs gegn ákveðinni þóknun, en hún þótti alltof há.

Enn kom álitserð um námu-málin frá Johnstrup dags. 18.5. 1881. Þar vill hann meina að Tulinius hafi tekið úr námunni svo mikið magn gæða-silfurbergs („ganske overordentlig store kvantiteter“), einkum síðasta rekstrarárið (1872) að hafi dugað markaðnum þessi 9 ár. (Þessi skoðun kemur líka fram m.a. hjá Merrill 1910). Enginn viti hvað Tulinius eigi enn á lager, og Johnstrup gat heldur ekki fundið út hve mikið hann seldi árlega. Johnstrup stakk upp á að náman yrði starfrækt 5. hvert ár. A. Helland kom að námunni þetta sumar og lýsti henni stuttlega, með teikningu, í grein um jarðfræði Íslands (Helland 1884).

Ákveðið var að Þorvaldur Thoroddsen færi austur 1882 og kæmi námarekstri í gang, en hætt var síðan við það að mestu, að ráði Johnstrups (skýrsla Þ.Th. á Þjskjs. dags. 8.11. 1882) og vegna erfiðra aðstæðna. Þó lét Þorvaldur taka upp nokkurt magn sem sent var utan í 13 kössum og Johnstrup seldi Optikus F. Schmidt í Berlín haustið 1883. Schmidt þessi var e.t.v. sá sami og firmað Franz Schmidt & Haensch er kennt við, en ég hef ekki kannað það. Andvirðið dugði ekki fyrir kostnaðinum við þessa „Forsögsbrydning“, enda segir Þorvaldur í skýrslu sinni „... men jeg tror ikke Minen kan betale sig“. Þorvaldur hefur eftir Tuliniusi, að hann áætli sjálfan sig hafa flutt út 280 tonn og Svendsen 50. Langmest af því hefur sjálfsagt verið „rosti“ sem lítið fékkst fyrir.

Á árinu 1885 var gerð önnur tilraun til námureksturs á vegum ríkisins, og eru ýmis plögg um hana til á Þjskjs., m.a. skrár um vinnulaun og verkfæri. Tryggvi Gunnarsson hafði umsjón með verkinu (sjá IV. bindi ævisögu hans eftir Bergstein Jónsson, 1990) en það var unnið af heimamönnum. Efnið sem náðist, var lélegra að gæðum en 1882. Það var sett í umboðssölu hjá H. Struers Kemiske Laboratorium í Kaupmannahöfn (sem hafði keypt 20 kg 1884, gegnum Johnstrup), og seldist að mestu á árunum 1886-90. Garboe (1961, bls. 340) segir að Struers „laa til stadighed inde med et mindre lager“ af silfurbergi, og er jafnvel á honum að skilja að svo hafi verið a.m.k. frá 1871, en fyrirtækið var ekki stofnsett fyrr en 1875.

Líklegt er að aðrir en ríkið hafi hirt eitthvað af silfurbergi á tímabilinu 1879-90. Þannig nefnir t.d. Sède (1884) að á árinu 1883 hafi gott stykki að stærð 8x6x2 cm kostað 4 kr. við námuna. Helgi H. Eiríksson (1930) segir, að á árunum 1886-91 hafi fengist úr henni tærir kristallar sem vógu 2-300 kg og voru seldir fyrir tugi þúsunda króna. H. Labonne (1887) skoðaði námuna vorið 1887 og virðist hann (eins og Helland) telja vera mikið af kristöllum eftir þar. Hann kveður C.D. Tulinius vera með námuna á leigu, sem er varla rétt. Að lokum má nefna að Bréon (1882) skoðaði á árinu 1880 silfurberg í Djúpadal í Barðastrandarsýslu, þar sem Ólafur Olavius hafði nefnt öld fyrr að kalkspat myndist. Hann segir það yfirleitt ógegnsett, en sé þar um áhrif veðrunar að ræða muni Djúpidalur e.t.v. geta tekið við af Helgustaðanámunni þegar hún sé þorin.

Haensch (1889) hefur eftir áður nefndum Struers tækjasala í Kaupmannahöfn, að dönsk yfirvöld hyggist senda leiðangur til Íslands 1891 „um ein grösseres Quantum Spath zu gewinnen“, en ekki hef ég séð heimildir um neinn slíkan. Á Alþingi 1891 var lagt fram stjórnarfrumvarp um sölu silfurbergsnámunnar, aðskilinnar frá jörðinni Helgustöðum. Í greinargerð er vísað til þess að ágóði af vinnslunni 1882 og 1885 hafi verið lítill, og telji prófessor Johnstrup ráðlegt að láta hina stærri sjóntækjasmíði gera tilboð í námuna. Frumvarpið var fellt.

25 „Hungursneyðin“ 1884-1920, sjá tilvitnanir í Viðauka 1

Eitthvað fram yfir 1880 virðist oftast hafa verið til nóg af silfurbergi handa þeim sem vildu, en sjá þó m.a. Ladd (1874) og Laurent (1877) sem vantaði stór prismu úr því og þurftu þá að bjargast við samanlímd smærri prismu. Til dæmis auglýsir tækjasmíðurinn A. Hilger á árinu 1880 í stjörnufræði-tímaritinu *The Observatory*, að hann geti búið til prismu (líklega þríhyrnd) upp í allt að 5“x 5“ að stærð. Eftir 1882 hættir hann að auglýsa þar silfurberg, og frá 1884 fer að bera víða á kvörtunum um skort á því til sjóntækjasmíða og rannsókna. Hafa setningar úr ýmsum heimildum til merkis um þann skort verið teknar saman í Viðauka 1A. Forseti Konunglega Vísindafélagsins í Lundúnum, G.G. Stokes sem sjálfur gerði afar merkar uppgötvanir í ljósfræði og á fleiri sviðum eins og fram hefur komið, skrifar bréf til ráðherra Íslands dagsett í júlí 1886 (Þjskjs.), sjá Viðauka 1C. Þar segir hann efnið hafa áður verið auðkeypt í Bretlandi, en nú hafi ekkert sést af því í nokkur ár og sé mikið vandræðaástand. Hann ákallar ríkið um að opna námuna að nýju; megi ef til vill tína úr lausu efni við námuna kristalla sem fleygt hafi verið á fyrri árum, og selja til að hafa upp í kostnað við þær aðgerðir. Bréfi Stokes fylgdi íslensk þýðing, gerð af vini hans Eiríki Magnússyni í Cambridge. Á Alþingi 1887 var lögð fram þingsályktunartillaga um að Eiríkur fengi að vinna allt að 500 pund í námunni, en hún kom ekki til umræðu.

Labonne (1887) segir að í Frakklandi hafi menn miklar áhyggjur af silfurbergs-vöntun. Undir lok þess árs gerir þýska kanslaraembættið fyrirspurnir til stjórnvalda hér og í Bandaríkjunum um silfurberg að beiðni sjóntækjaframleiðenda, eins og fram kemur í þýskum jarðvísindatímaritum (*Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch.* 1888). Þar er nefnt að góðir silfurbergskristallar finnast mjög sjaldan utan Íslands. Þetta varð til þess að Þorvaldur Thoroddsen (1889, 1890) skrifaði greinar um námuna sem birtust a.m.k. bæði á dönsku og þýsku. Í greinum sínum, og einnig í bókum síðar, bindur Þorvaldur vonir við Djúpadal vestra sem mögulega nýja uppsprettu silfurbergs.

H. Haensch (1889) kvaddi sér hljóðs á fundi þýskra tækjasmíða, og sagði fyrri málaleitan kanslaraembættisins að beiðni félags þeirra engu silfurbergi hafa skilað á markaðinn. Stefndi í algera þurrð á því til mikilla vandræða fyrir tækjaverkstæðin, sykuriðnað og fleiri. Var samþykkt ályktun á fundinum, þar sem tækjasmíðirnir skorðu aftur á ríkisstjórn sína að ganga í málið. Ábyrgðust þeir að kaupa talsvert magn af kristöllum ef gæðin væru trygg.

Hoskyns-Abrahall (1892) kom frá Bretlandi 1890 og skoðaði námuna að undirlagi áður nefnds H.G. Madans, vegna þess hve erfitt væri orðið að fá stór tær stykki af silfurbergi. Hann nefnir

að Thor E. Tulinius (þ.e. Þórarinn, sonur Carls D.) sem búsettur sé í Kaupmannahöfn, sé enn að selja af birgðum föður síns úr fyrri rekstri. Í bréfi til stjórnvalda vorið 1890 sem er á Þjóðskjalasafni, telur hinsvegar Johnstrup (að mér sýnist) að Tulinius hafi árið áður selt allt sem hann átti eftir af silfurbergi.

Líklegt er, að sjóntækjaframleiðendur hafi á þessum hungur-tímum aflað sér silfurbergs með því t.d. að kaupa aukaeyntök kristalla af söfnum (Beckenkamp 1915). Nefnir Garboe (1961, bls. 503) að eftir 1890 hafi verið leitað eftir slíku við Mineralogisk Museum í Kaupmannahöfn, en ekki kemur fram hvort eitthvað var selt. Ekki var óalgengt á þessum árum, að auglýst væru í tímaritum (t.d. Neues Jahrbuch für Mineralogie) til sölu stór steindasöfn úr einkaeigu svo sem úr dánar- og þrotabúum, og hefur það ef til vill létt á ástandinu að framleiðendur gátu náð þar í silfurberg. Auglýsingar um uppboð á ýmsum ljóstækjum, Nicol-prismum og silfurbergi birtust til dæmis í The Times 2. júlí 1885 og 24. nóv. 1887.

Grosse (1890, sjá Viðauka 1a) segir silfurbergspriamu orðin dýr því 95% af því efni sem keypt er til smíðanna, fari forgörðum. Beckenkamp (1915) o.fl. áréttu að stórir glærir kristallar hafi aðeins fengist frá Íslandi, en smærri kristalla annars staðar frá hafi mátt nýta. Gæti verið um að ræða t.d. staði í Þýskalandi eins og Auerbach in der Bergstrasse, eða Krím-svæðið í Rússlandi þar sem vitað var um brúklegt silfurberg stuttu fyrir aldamótin, sjá í 32. kafla og í Viðauka 1. Einnig mátti komast af með smá-gallað efni í sum tæki, t.d. dichroskop til lauslegrar skoðunar á steinda-sýnum.

26 Silfurberg og efnafræðirannsóknir, einkum 1840-1915

Efnafræðingar hafa sífellt verið að endurbæta aðferðir sínar við efnagreiningar, en við þær er að sjálfsögðu mikilvægt að þekkja nákvæmlega atómpunga hinna ýmsu frumefna. Mælingar á atómpungum gátu brenglast af völdum aðskotaefna í efnasamböndum sem unnið var með, og skipti því miklu að hafa aðgang að sem hreinustu hráefni. Dumas (1842, bls. 546) tekur fram við rannsóknir sínar á þessu sviði, að það sé um að gera að „faire des analyses ou des synthèses sur une grande échelle, en opérant des réactions très-simples sur les corps très-purs“.

Hvað varðaði atómpunga kalsiums, höfðu niðurstöður verið nokkuð breytilegar á árabílinu 1840-1900, milli 39,96 og 40,22 (umreiknað fyrir súrefni = 16). Þar af notuðu Dumas (1842), Erdmann og Marchand (1842, 1844, 1850) og líklega fleiri íslenskt silfurberg til mælinganna. Ég hef ekki skoðað rit J.-S. Stas sem einna stórvirkastur var í atómpungaákvörðunum á síðari hluta aldarinnar, nema ítarlega lýsingu aðferða fyrir rannsóknir á litrófum efna sem út kom að honum látnum (Stas 1892). Þar í köflum V-VI kemur fram að hann hefur notað spath d'Islande talsvert við að útbúa efnasambönd til litrófsgreininga.

Í alþjóða-samráði eða formlegri nefnd um atómpunga sem þýska efnafræðifélagið hafði forgöngu um, var bara reiknað með þunganum 40 fyrir kalsium á árinu 1898 (Ber. Deutsch. Chem. Ges. 31, 2761-2768). Á þessum árum var enn umræða í gangi um kenningu W. Prouts frá því snemma á 19. öld, varðandi það hvort atómpungar frumefna hlytu að standa á heilum margfeldum af þunga vetnis.

Í sérstakri rannsókn sinni á atómpunga kalsiums tekur Hinrichsen (1901) fram, að við þær efnagreiningar hafi hann eingöngu notað mulning úr nokkrum sýnum af íslensku silfurbergi. Af þeim og öðrum birtum mælingum er ljóst (sjá Viðauka 2) að íslenska silfurbergið er mjög hreint kalsiumkarbonat, inniheldur minna en 0,1% af öðrum efnum. Það var einnig alveg laust við kristalvatn, sem olli erfiðleikum við að nota flest önnur kalsiumsölt úr náttúrunni og tilbúin kalsiumsambönd í þessu skyni. Niðurstaða Hinrichsens (1901) var sú að atómpunginn sé 40,142. Um svipað leyti kvaðst T. W. Richards (1902) hafa fengið bráðabirgðagildið 40,126 fyrir kalsium úr marmara, og hækkaði alþjóðanefndin því atómpungann í 40,1 (Ber. Deutsch. Chem. Gesellschaft. 34, 4384, 1901). Hinrichsen (1902) endurtók stuttu síðar mælingar sínar með silfurbergi frá Krímskaga og fékk 40,136 en virðist treysta íslenska efninu betur. Atómpungagildið 40,09 fyrir Ca var samþykkt af alþjóðanefndinni 1909 (sjá Rev. Gén. Sci. 24, bls. 102-103), og 40,07 árið 1912 (sjá J. Prakt. Chemie 85, bls. 93) í samræmi við nýja mælingu

Richards á kalsíumsöltum. Oechner de Coninck (1911) fékk 40,06 úr mælingu þar sem hann notaði íslenskt hráefni. Endanleg niðurstaða varð 40,08.

Íslenskt silfurberg kom við sögu í mælingum á atómþunga flúors (Louyet 1849), klórs og bórs (Laurent 1849) og magnesíums (Marchand og Scheerer 1850). Í ritsmíðum varðandi nýjar eða breyttar aðferðir til efnagreiningar á karbonötum (t.d. Jäger og Krüss 1888) er þess stundum getið að höfundar hafi notað silfurbergið til prófana á þeim aðferðum. Í minningargrein í J. Chem. Soc. 1938 um D. O. Masson sem hafði verið efnafræðiprófessor í Melbourne frá 1887, er sagt frá greinarkorni hans í Chemical News 1900 sem ráðleggi að mæla styrk m.a. saltsýru út frá því hve mikið silfurberg hún leysi upp. Ekki hef ég séð greinarkornið né fundið út hvaðan silfurbergið var þá fengið, en höfundur minningargreinarinnar segir aðferðina algenga. Af greinaskrá á Netinu er ljóst að silfurberg var notað víða af efnafræðingum frá 1890 og fram yfir 1960, svo sem við stöðlun lausna í ólífrænum efnagreiningum, eðlisefnafræði, og lífefnafræði. Sjá til dæmis Heidenhain (1896), Rose (1909), J.I.O. Masson (1911), Dodge (1915), Foote og Bradley (1926), Hughes (1937) og Fries (1948, bls. 131).

Efnajafnvægin milli kalsíumoxíðs, koldíoxíðs og/eða vatns við mismunandi aðstæður er mikilvægt að þekkja m.a. í ýmsum iðnaði, við rannsóknir á bergefnafræði karbonat-jarðmyndana, í landbúnaði, í vatna- og haffræði og víðar. Margir hafa ritað um tilraunir á þessu sviði og um túlkun niðurstaðna út frá lögmálum varmafræðinnar, og er stundum tekið fram að notað hafi verið silfurberg í tilraununum, t.d. af Prideaux (1915), Smyth og Adams (1923), og Miller og Witt (1929). Vel er líklegt að svo hafi einnig verið gert í sumum öðrum sambærilegum rannsóknum sem ég hef ekki komist til að skoða.

27 Ýmsar rannsóknir með Nicol-prismum kringum aldamótin

Á áratugunum kringum aldamótin 1900 var áfram mikill áhugi á ljósfræði. Út komu fyrir aldamótin ýmsar þekktar bækur þar sem skautað ljós er í stóru hlutverki, bæði bækur um almenna ljósfræði (s.s. Beer 1882, Verdet-Exner 1887, Basset 1892, Mascart 1889-93, Dufet 1898-1900) og sömuleiðis sérhæfðari bækur um kristalla-ljósfræði (s.s. Pellat 1896), optiska virkni efna (Landolt 1898, *Mynd* 27-5, o.fl.) og fleiri fræðasvið. Rannsóknir í ljósfræði voru að sjálfsögðu mjög öflugar á þessum tíma: verða nokkur mikilvæg atriði sem sérstaklega varða rannsóknir með Nicol-prismum, tínd til hér að neðan.

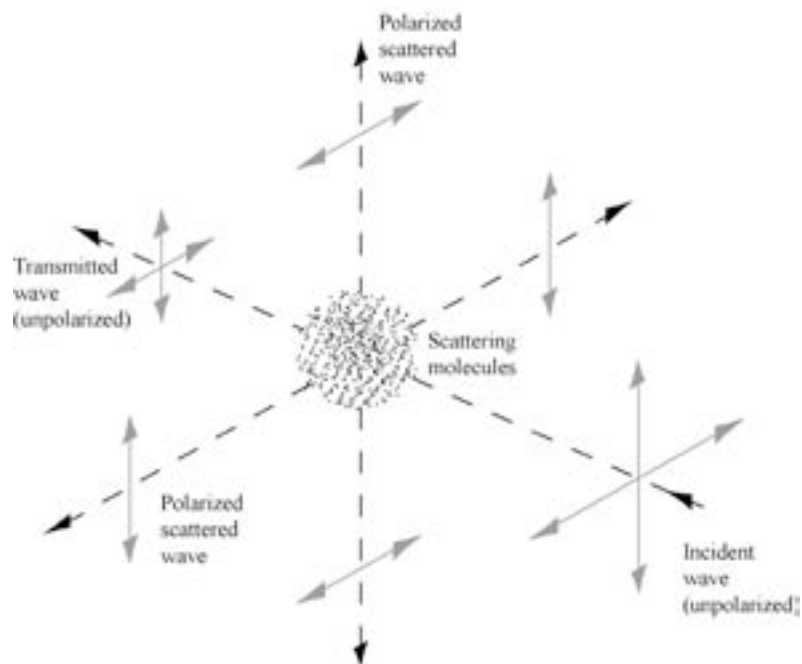
27.1 Dreift ljós og litur himinsins

Allt frá því F. Arago uppgötvaði skautun ljóssins frá heiðskírum himni 1809 og fram á sjöunda áratug aldarinnar, rannsökuðu margir hana með ýmsum polarimetrum. Hinn blái litur himinsins og þessi skautun (sem er mismunandi mikil eftir afstöðu frá sól, og eftir sólarhæðinni) voru jafnvel kölluð „the two great standing enigmas of meteorology“. Gerðu sumir umfangsmiklar mælingar á skautuninni (t.d. Rubenson 1865). Aðrir settu fram hugmyndir um orsakir hennar og vensl við styrks ljóssins, svo sem R. Clausius (1847, og síðar) sem annars er þekktastur fyrir framlag til varmafræða.

J. Tyndall (*Mynd* 27-1) sem kom við sögu í köflum 15.1 og 16.1, hafði áhuga á að skýra hin margvíslegustu fyrirbrigði, bókstaflega milli himins og jarðar. Meðal annars flutti hann og birti erindi um goshveri á Íslandi (Tyndall 1853), sem líklega er þó byggt á athugunum G.S. Mackenzies, R. Bunsens, H. Hollands og fleiri Íslandsfara fremur en að hann hafi sjálfur skoðað þá. Til gamans má nefna, að Tyndall segir vatnið í skál Geysis vera „the purest azure“ á litinn, og er raunar talið að íslensku hverirnir hafa orðið Bunsen (1849) tilefni til að gera fyrstur manna tilraunir varðandi lit vatns. Eitt áhugamála Tyndalls (1869a,b, 1870) varðaði áhrif ljóss á sameindir andrúmsloftsins og efna sem þar væru á sveimi, svo sem vatnsgufu. Hann bjó til ský úr ýmsum tegundum gufu (m.a. úr butýlnítríti, isopropyljoðiði og fleiri lífrænum efnum) og reyks (frá reykelsi, byssupúðri, tóbaki o.fl.) í glerröri sem hann lýsti upp. Ef agnirnar í gufunni eða reyknunum voru nógu litlar, varð ljósið sem dreifðist frá þeim út til hliðanna, mjög

On the Colour of Water. By Professor BUNSEN.

The hot springs which occur in many parts of Iceland, and are especially remarkable at Reykir, are, says that excellent observer Bunsen, characterised by extreme beauty. In the depths of the clear unruffled blue waters of these basins, from which rises a light vapour, the dark outlines of what once formed the mouth of a Geyser may be faintly traced amid the fantastic forms of the white stalactic walls. Nowhere can the beautiful greenish-blue tint of water be seen in greater purity than in these springs.



Mynd 27-1. Efst er upphaf greinar Bunsens (1849) sem fjallar m.a. um bláan lit íslenskra hvera. J. Tyndall (1820-1893, neðst t.v.) sýndi fram á það 1869 að ljós sem dreifðist til hliðanna frá reyk eða dusti, væri línulega skautað. Sjá um það skýringarmyndina í miðjunni sem er endurteiknuð úr bók G.R. Fowles: Introduction to Modern Optics. Myndin er einfölduð, dreifða ljósið fer í raun til allra átta. J.W. Strutt (síðar Rayleigh, 1842-1919, neðst t.h.) setti fram mikilvæga kenningu um eðli ljósdreifingarinnar 1871.

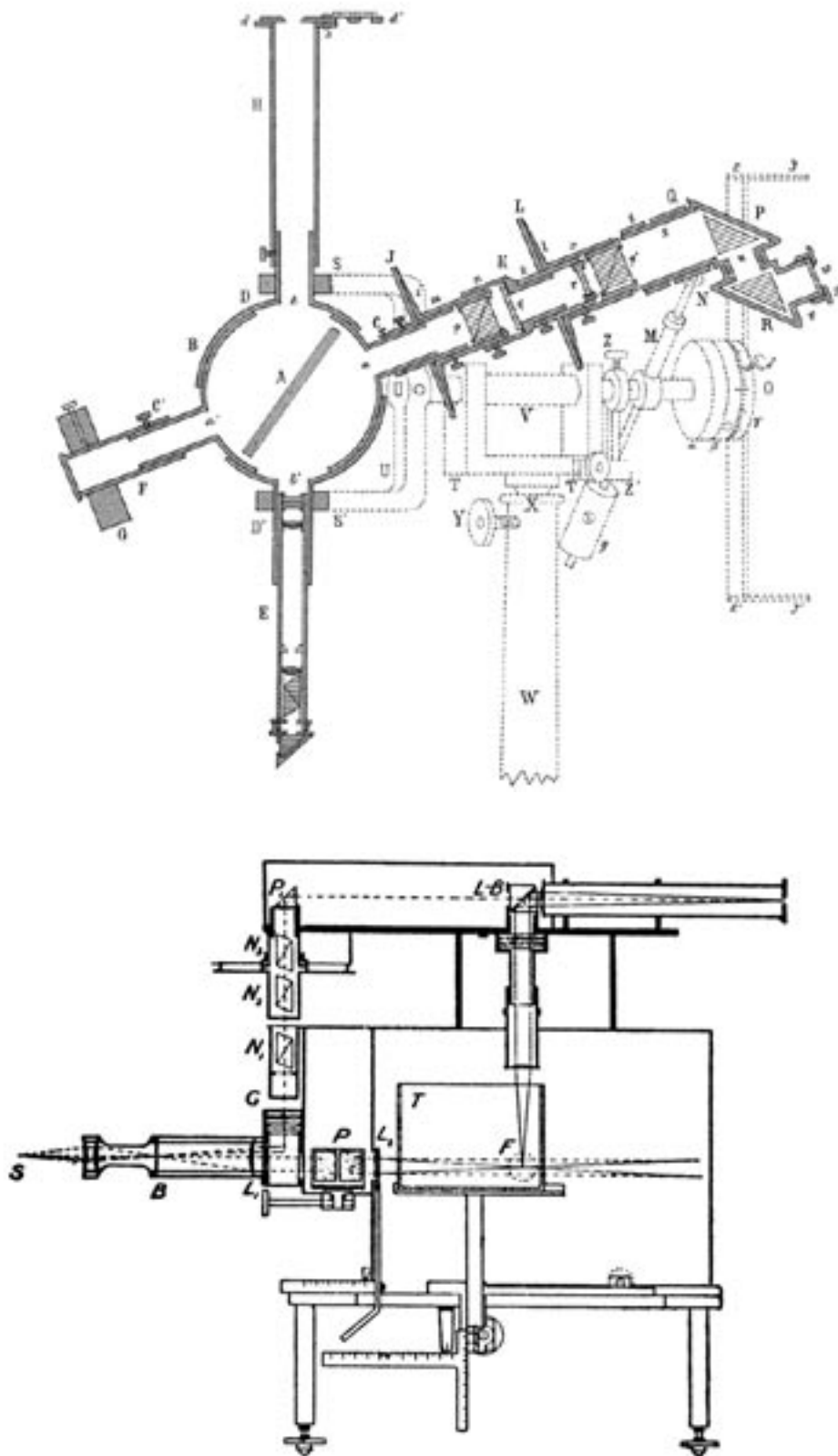
fallega blátt eins og „the purest Italian sky“. Með Nicol-prismum og öðrum búnaði fékk hann jafnframt ýmsar óvæntar niðurstöður, svo sem þá að dreifða ljósið gat verið línulega skautað þótt innfallandi ljósgeislinn væri óskautaður (*Mynd 27-1*). Govi (1860b) var raunar búinn að benda á það atriði áður. Þegar agnirnar stækkuðu, hvarf blái liturinn og skautunin: hana kallar síðar bók Verdet-Exners (1887, bls. 404) „die interessanteste Eigenschaft der trüben Medien“. Svipað gerðist með fingert dust í vatni, en ekki nefnir Tyndall (1869b, 1870) þó hverina í því sambandi; Busch og Jensen (1911) telja hann hafa fengið hugmyndir sínar við að sjá móreyk á Írlandi. Í grein í Rev. Gén. Sci. 1902 (bls. 59) er sagt: “L’expérience de Tyndall donnait la clef du problème“ um himinblámann.

Af athugunum sínum dró Tyndall þá ályktun að ljós himinsins væri sólarljós endurkastað frá ögnum, sem væru litlar miðað við bylgjulengd ljóssins. J.W. Strutt (1871a; Strutt varð Rayleigh lávarður 1873, sjá *Mynd 27-1*) benti á að varla væri rétt að líkja þessu fyrirbrigði við venjulega speglun, og fékk það síðar sérstakt nafn: ljósdreifing (scattering) Rayleighs. Strutt (1871a,b) gerði nýja kennilega úttekt á líklegri hegðun slíkra smáagna í ljósbylgjunni, og fékk hann þá merku niðurstöðu að styrkur dreifðs ljóss væri í öfugu hlutfalli við fjórða veldi bylgjulengdar. Þótt ljósvakakenningin væri ríkjandi 1871, reynist þessi niðurstaða enn vera vel brúleg nálgun. Hann gat einnig skýrt skautun ljóssins sem dreifðist hornrétt til hliðar, og dró jafnframt þá ályktun að kenning Fresnels um sveiflur ljósvakans væri réttari en kenning Neumanns. Auk Tyndalls og Strutts voru m.a. J.-L. Soret, A. Lallemand (1871) og E. Hagenbach að rita um rannsóknir á lit andrúmslofts og vatns í tímarit um 1870. Fleira var kannað með dreifðu ljósi: til dæmis sýndi Soret (1874) fram á tilvist sótagna í gasloga út frá skautun ljóssins frá honum, og Tyndall sjálfur notaði á áttunda áratugnum ljósdreifi-fyrirbrigðið við merkar rannsóknir á ögnum, einkum sóttkeikjum, í andrúmsloftinu. Rayleigh (1881a, 1899) benti á að skautunina í ljósi frá smáögnum mætti einnig skýra út frá rafsegulfræði-kenningu Maxwells. Haldið var áfram ýmsum athugunum á styrk, lit og skautun himin-ljóssins: má þar nefna Wild (1876, *Mynd 27-2*) og Crova (1890) sem báðir beittu m.a. ljósmælum með Nicol-prismum. Hurion (1896) mældi dofnun og skautun ljóss í gruggugum vökva með litrófs-ljósmæli Cornus, og Compan (1899) mældi dofnunina með tæki Crovas. Niðurstöðum Compan bar saman við fjórða-veldis lögmál Rayleighs fyrir mjög litlar agnir, en fyrir agnir með stærð sambærilega við bylgjulengd ljóssins passaði betur annað lögmál sem R. Clausius hafði sett fram kringum 1850.

Á árunum um og eftir 1900 gerðu margir vísindamenn rannsóknir á dreifingu ljóss frá ögnum og skautun þess, með mælingum í rannsóknastofum á lofttegundum (t.d. Cabannes 1915, sem sýndi fyrstur að alveg hreint loft dreifði ljósi), vökvum (Spring 1899, Müller 1907, Steubing 1908, o.fl.) og glærum föstum efnum (t.d. Siedentopf og Zsigmondy 1903, Rayleigh yngri 1919), auk kennilegra úttekta (t.d. Mie 1908, fyrir málmagnir). Einnig voru gerðar mælingar á litrófi, skautun og dofnun sólarljóssins í lofthjúpi jarðar (Pernter 1901, Busch og Jensen 1911, o.m.fl.). Að síðustu má nefna mælingar á skautun kórónu-ljóss sólar við marga sólmyrkva allt fram undir 1920 (t.d. Wood 1900, Salet 1910), einkum með Savart-plötum til þess m.a. að fá upplýsingar um hvort það ljós stafaði af endurkasti, dreifingu eða ljómun.

Upp úr 1910 komu fram hugmyndir um að ljósdreifing í efnum stafaði ekki bara af ryki og öðrum aðskotaögnum í þeim, heldur einnig sameindum efnanna sjálfra (sjá Martin 1920). Þessi ljósdreifi-fyrirbrigði voru þannig ein þeirra aðferða sem menn höfðu til að áætla fjölda sameinda í móli (Avogadros tölu, sjá Partington 1953, bls. 242, og Bruhat 1942, bls. 287), einkum áður en R.A. Millikan mældi hleðslu rafeindarinnar (sbr. 36. kafla) en einnig síðar (t.d. Cabannes 1921).

Rannsóknir á ljósi sem smáagnir dreifa, lögðu jafnframt grunninn að mikilvægri mæliaðferð varðandi sviflausnir (suspensions) sem á ensku er nefnd nephelometry. Þar var dreifða ljósið mælt með ljósmælum ýmissa tegunda, sjaldan með Nicol-prismum en það kom þó fyrir: sjá til



Mynd 27-2. Tækjabúnaður varðandi dreifingu ljóss. Efri mynd: Tæki Wilds (1876) sem hann kallaði uranophotometer og notaði til að kanna eiginleika himin-ljóssins. Í tækinu eru þrjú Nicol-prismu og Savart-plata úr silfurbergi. Neðri mynd: Tæki Mecklenburgs (1914) með þrem Nicol-prismum, til að mæla dreift ljós frá svifefnum í vatni í troginu T.

dæmis Mecklenburg (1914, 1915) um „Tyndallmeter“ með þrem Nicol-prismum (*Mynd 27-2*) og Wilke og Handovsky (1913) með fjórum, Weinberg (1921), og bók Walsh (1958). Aðferðin mun vera mikið notuð í líffræði, efnafræði, lífefnafræði og ýmiskonar tækni svo sem við hreinsun neysluvatns, bjórs o.fl.

Um ýmis spennandi atriði í frekari þróun rannsókna á dreifðu ljósi, sjá kafla 36.7.

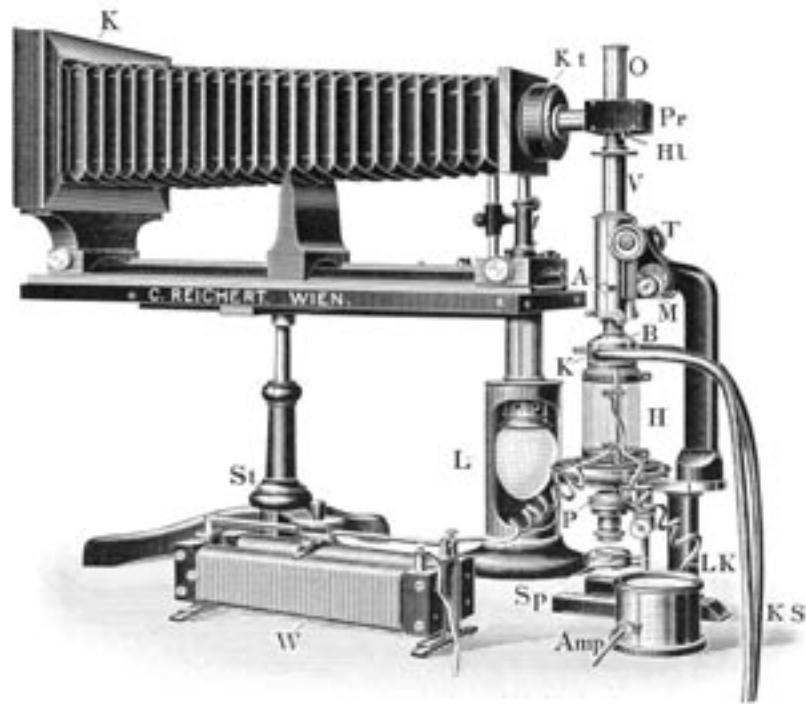
27.2 Fljótandi kristallar, frá 1870

Ekki má gleyma því, að steindir (minerals) eru aðeins örlítið brot af öllum þeim fjölda efna, sem geta kristallast og er því gagnlegt að kanna með skautuðu ljósi. Ekki verða þeim gerð nein tæmandi skil hér, en eitt mikilvægt tilfelli dregið fram í þessum kafla og fáein önnur nefnd í seinni hluta kafla 29.1.

Um 1870 var farið að kanna eðliseiginleika tiltekinna lífrænna efnasambanda, sem ekki breyttust úr vökva í kristalla við eitt fast hitastig eins og einfaldari efni gera, heldur voru í millibilsástandi yfir 10°C- hitastigsbil eða meir. Meðal slíkra efna var svokölluð grænsápa, seig hlaupkennd sápa sem mikið var notuð á heimilum áður fyrr, og ýmis fitu-, sellulósa- og vaxefni. Formlegt upphaf sérstaks fræðasviðs í kringum þessi efni (sjá Houben-Weyl 1955) er gjarna miðað við það þegar eðlisefnafræðingurinn O. Lehmann (1889) kynntist fyrstu athugunum grasfræðingsins F. Reinitzers á þeim. Til rannsókna á fljótandi kristöllum voru mikið notaðar smásjár með Nicol-prismum og upphituðu borði (Kristallisationsmikroskop), sem Lehmann hafði fundið upp 1877 og útbúið til ljósmyndunar og til að varpa myndunum á skjá (Lehmann 1886b). Þær rannsóknir gengu upp og ofan framan af, því hegðun efnanna var á ýmsan hátt mjög óvænt: jafnvel líktust þau að nokkru leyti lifandi frumum. Töldu sumir að um eitthvert rugl væri þarna að ræða. Lehmann (t.d. 1900, 1908) gaf sig þó ekki, en birti marga tugi ritsmíða um ítarlegar athuganir sínar á efnum af þessu tagi allt fram til um 1920. Í greininni 1900 eru til dæmis 169 lit-teikningar af dropum efnanna eins og þau birtust í skautunarsmásjá Lehmanns, og síðar tók hann einnig kvikmyndir gegnum smásjárana. Sannfærðust menn þá smám saman um að þarna væri athyglisvert eðlisfræðifyrbrigði á ferðinni. Efnin sem fengu sameitið „fljótandi kristallar“, eru úr stórum aflöngum sameindum og eru mjög misátta.

Skautunarsmásjár með upphitunarborði nýttust jafnframt við að skoða kristöllumar-ferli annarra efna, og náðust hitastig vel yfir 1000°C í sumum (*Mynd 27-3A*). Voru þær „namentlich zu den Untersuchungen der Umwandlungen der verschiedenen Modificationen eines Körpers unentbehrlich“ segir bók Groths (1885, bls. 658) þar sem er lýsing á svona búnaði.

Þúsundir fljótandi kristalla voru þekktar þegar um 1940, og er löngu búið að flokka þau efni niður á ýmsan hátt eftir innri byggingu og skilja ástæður fyrir eiginleikum þeirra. Skautað ljós reyndist þar enn vera hið mesta þing (Gaubert 1905; Vorländer 1908; Wien-Harms 1928). Segir í vísinda-alfræðibók Van Nostrands (1989): „Polarized light is the most powerful tool for investigating liquid crystals, all of which exhibit characteristic optical properties“. Meðal ljóseiginleikanna eru gífurlega sterk optísk virkni (jafnvel > 50000° snúningur á mm!), og Cotton-hrif. Sumir fljótandi kristallar fá tvöfalt ljósbrot í rafsviði (t.d. Björnsthál 1918), en það er undirstaða hagnýtingar þeirra í skjái (liquid crystal displays) fyrir mælitæki og stafræn úr frá því um 1970, og nú síðast fyrir tölvur og sjónvörp.

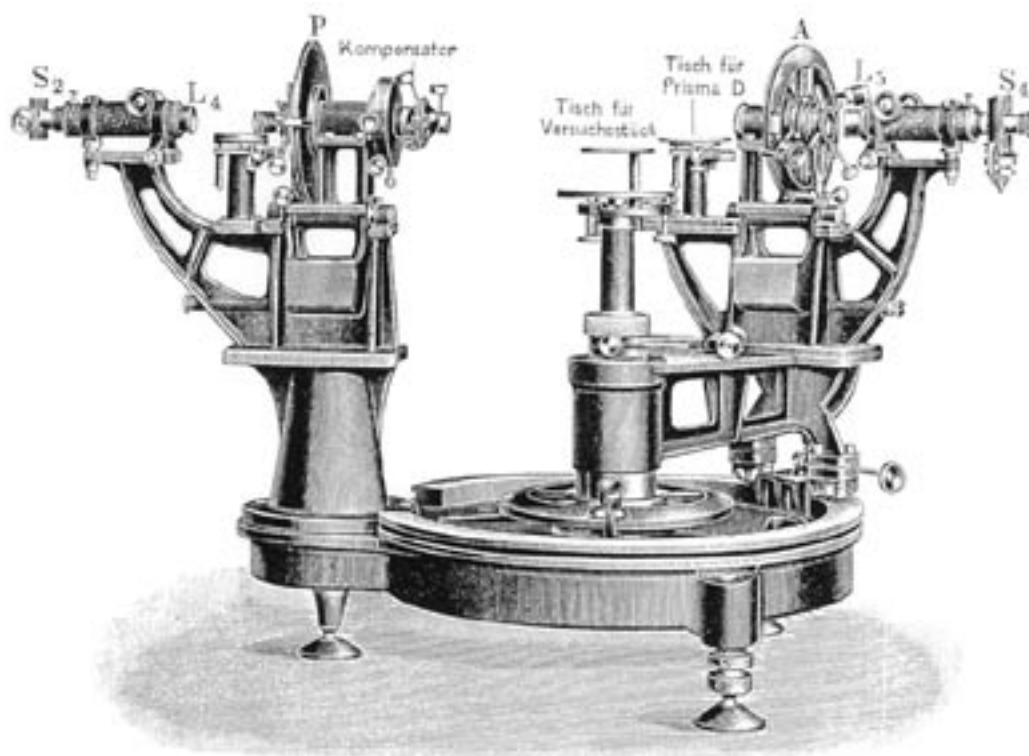


Mynd 27-3A. Rannsóknir á ljóseiginleikum steinda, “fljótandi kristalla” og fleiri efna kölluðu á tækni til að skoða þau við hækkað hitastig. Kringum aldamótin 1900 var lýst nokkrum skautunarsmásjám þar sem mátti hita sýni með gasloga eða rafstraumi. Þessi var hönnuð af C. Doelter 1909, K er myndavél. Úr bók Weinschenks (1925).

27.3 Ljós-fjöðrun 1880-1920 og síðar; Maxwell-hrif í vökvum

Eftir rannsóknir Wertheims, Maxwells o.fl. upp úr 1850 (kafla 15.3) virðist ekki mikið hafa gerst í 2-3 áratugi varðandi þau áhrif þrýstings að valda tvöföldu ljósbroti einsátta fastra efna, og þessu atriði var lítill gaumur gefinn í ljósfræði-kennslubókum. Lepinay (1880) staðfesti þá niðurstöðu Wertheims (1851) að áhrif þrýstings á ljóshraðann í tilteknum glertegundum væru nær óháð bylgjulengd ljóssins, en þetta gildi þó ekki í öllu gleri. Kerr (1888), Carus-Wilson (1891), Marston (1893), Pockels (1902) og König (1903) gerðu einnig nokkrar athuganir á þessu sviði, og dró Pockels þá ályktun að vissar kennilegar niðurstöður Neumanns (1843) um áhrif þrýstingsins væru rangar. Pockels (1889, 1903) fjallar um fyrstu mælingar á ljósbroti kristalla (kvars og silfurbergs) undir þrýstingi, ásamt túlkun þeirra út frá fræðilegu fjaður-líkanu. König (1901) skoðaði tvöfalt ljósbrot í aflangri glerplötu sem var látin sveiflast, til samanburðar við eldri kenningar og tilraunaaðferðir. Í tilraunum var síðan brátt farið að nota glær gerviefni sem auðveldara var að smíða úr en gleri: celluloid frá 1906, og jafnframt því bakelit frá um 1920.

Um 1910 virðast verkfræðingar byrja að taka við sér í notkun skautaðs ljóss við rannsókn álags á tvívíð gegnsæ líkön af bygginga- og vélahlutum. Hlaut aðferðin nafnið ljós-fjöðrun (photoelasticity). Eins og fram hefur komið lauslega í kafla 15.3, fóru þessar rannsóknir þannig fram að hvítt ljós sem hafði verið gert línulega skautað með Nicol-prisma, var sent gegnum slíkt líkan og síðan annað Nicol-prisma hornrétt á hitt (eins og gert er í bergfræðismásjá). Sást þá mynstur af tvennskonar röndum í líkaninu. Önnur tegundin eru svart/hvítar „isoclinics“-rendur sem liggja þar sem tveir meginþættir spennusviðsins í efninu eru samsíða. Hin tegundin

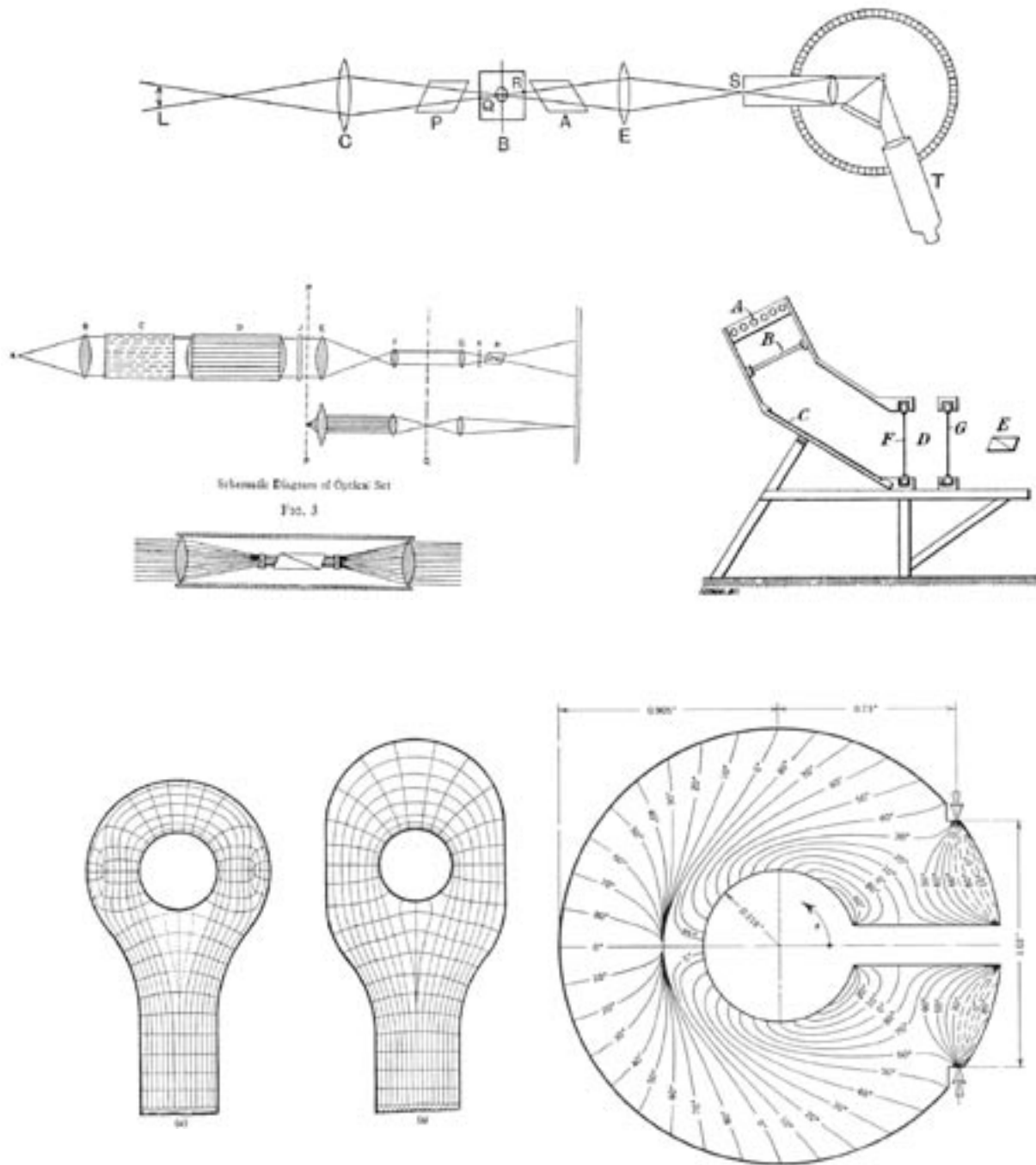


Mynd 27-3B. Skautað ljós var nauðsynlegt til að kanna innri spennur í gleri því sem linsur og prisma í vönduðum ljóstækjum voru gerð úr. Hér er prófunartæki Schulz (1912).

eru litaðar „isochromatics“ – rendur: þær tengja saman punkta í efninu með sömu hámarks-skerspennu, þannig að tölfræði annars geislans miðað við hinn er þar heilt margfeldi af bylgjulengd þess litar. Ef hringskautað ljós er notað, sjást aðeins síðarnefndu rendurnar.

Mesnager (1913) gerði glerlíkan af brú úr járnbennti steinsteypu, sem byggja átti yfir Rhône-fljót, til að skoða álags-spennur í því með skautuðu ljósi. Vakti sú framkvæmd talsverða athygli (sjá Skinner 1923). Coker (1910, 1916 o.fl.) og Filon (1907, 1912 o.fl.) notuðu ljósfjöðrunar-mælingar til að staðfesta almennar kennilegar tilgátur í burðarþolsfræði. Þeir könnuðu einnig mörg verkfræðilega mikilvæg dæmi um álags-spennur með þessum aðferðum, sjá t.d. *Mynd 27-4*. Yfirgripsmikil bók eftir þá (Coker og Filon 1931) átti mikinn þátt í að auka áhuga vísindamanna og verkfræðinga á aðferðinni, enda segja þeir þar í formála: „The practical importance of photo-elasticity to the engineer can hardly be overrated. It provides him, as no other existing method does, with an immediate practical solution of fundamental problems concerning the stresses in the elements of structures and machines, which cannot be otherwise directly observed and which are usually beyond the reach of calculation.“

Nokkrar stórar rannsóknastofur voru farnar að sinna hagnýtum ljósfjöðrunar-rannsóknum um og upp úr 1920, m.a. á vegum fyrirtækjanna General Electric og Westinghouse (Kimball 1921, *Mynd 27-4*, Delanghe 1928) og háskólastofnana. Delanghe lýsir dæmum um notkun ljóstækninnar við að kanna spennur kringum t.d. hnoðgöt í plötum, festingar, og tannhjólattennur. Í formála tveggja binda rits Frochts (1941, 1948, *Mynd 27-4*) er ítrekað að þessar rannsóknir hafi haft geysimikla hagnýta þýðingu, því að útreikningar á spennusviðum í hlutum séu flóknir og menn hafi áður orðið að láta sér nægja að áætla meðalgildi þeirra á svæðum innan hvers hlutar. Efnin láti hinsvegar ekki meðal-spennuna ráða því hvar þau gefa sig, heldur brotni þau á



Mynd 27-4. Efst: Dæmigerð uppsetning tækja frá um 1905 (Coker og Filon 1931) til að skoða spennur í litlum glærum hlut B undir álagi, með skautuðu ljósi af einni bylgjulengd. Ljósið kemur frá vinstri, athugandi horfir í kíkinn T. Í miðið t.v.: Ef skoða átti stærra svæði af hlut P, varð að koma miklu ljósmagni gegnum skautunarprismað sem er inni í D, sjá þversniðið fyrir neðan. Til að prismað ofhitnaði ekki, fór ljósið fyrst gegnum vatnsbaðið C (Kimball 1921). T.h.: Önnur lausn var sú að nota glerspegil C sem skautara fyrir ljósið frá lömpunum A. Gegnsær hlutur til að álagsprófa er þá í D, á milli fjórðungsplatanna F og G (Coker og Thompson 1912). Neðst: Spennudreifing fundin með glærum líkönum. T.v.: Togað í augu fyrir brúa-festingar. Í því hægra er spennan jafnari, og minni hættu á að það gefi sig (Coker 1912). T.h.: Spennur í skífu með rifu í, þegar reynt er að þrýsta rifunni saman (Frocht 1941).

stöðum þar sem spennan nái hámarksgildi. Frocht gefur yfirlit um mjög fjölbreyttar rannsóknir á ljósfjöðrun, og tækjabúnað til þeirra. Á ritunartíma fyrra bindis bókar hans var einlitt ljós komið í stað hvíts; Nicol-prismu virðast þá enn vera talsvert notuð, en glerspeglar (*Mynd 27-4*) og Polaroid-þynnur (eftir 1935 eða svo, sjá kafla 35.2) leystu þau af hólmi við að skoða stóra hluti vegna þess hve sjónsvið prismanna er takmarkað.

Eftir 1960 eða svo gerðu tölvur og bætтар reikniáðferðir mögulegt að reikna út kyrrstæða spennudreifingu í sífellt flóknari tilvikum, og handhægur búnaður á borð við rafræna þannema (strain gages) hjálpaði við að sannprófa þá reikninga. Minnkaði því þörfin fyrir ljósfjöðrunarathuganir á líkönum í slíkum tilvikum, en ný mikilvæg notkunarsvið þeirrar tækni komu fram jafnharðan. Þar á meðal voru rannsóknir með kvikmyndabúnaði og snúðsjá (stroboscope) á líkönum hluta sem sveifluðust eða snerust, sem og könnun á höggbylgjum, sprungumyndun, plastiskri aflögun o.fl. (Föppl og Mönch 1959).

Það var vitað allt frá 1814 (sjá kafla 7.3) að ef gler hefur verið kælt hratt eða ójafnt úr bráðnu ástandi, myndast í því innri spennur sem gera það tvíbrjótandi. Þetta var rannsakað nánar af ýmsum á 19. öld (t.d. Airy 1833a, Neumann 1843, Czapski 1891c, Rayleigh 1901), og nýtt meðal annars við þróun framleiðslu á svonefndu hertu gleri (Luynes 1876). Spennur sem koma fram á þennan hátt eða við frekari vinnslu glersins, geta á hinn bóginn spillt mjög gæðum þess til nota í t.d. linsur, ljósprismu, miðunartæki, og endafleti vökvasýna-röra fyrir polarimetra. Schulz (1912, *Mynd 27-3B*), Zschimmer og Schulz (1913), Halle (1921), Skinner (1923, bls. 749-750), Tardy (1929) og Grabau (1938) nefna, að framleiðendur og notendur ljóstækja prófi þetta atriði með skautuðu ljósi.

Áhrif þrýstings á efni eins og gler eru þau, að sameindir sem upphaflega sneru út og suður tilviljanakennt, snúa nú örlítið meira til einnar stefnu en annarra og verða því misátta gagnvart ljósi eins og kristallar. Á árinu 1866 kannaði Maxwell (1873-74) einna fyrstur hliðstætt fyrirbrigði, sem var tvöfalt ljósbrot í rennandi vökvum, og hefur það síðan verið við hann kennt. Þar valda sker-spennur (shear) í vökvunum því að í rennslinu snúa sameindir hans, sem sjaldnast eru kúlulaga, fremur í eina átt en aðra. Bouasse (1925, bls. 411-418, sjá einnig Gehrcke I, 2, 1927, bls. 879-880) bendir á að í tilraunum með skautuðu ljósi sjáist vel tímamunurinn milli hreyfinga í sumum seigum vökvum og kraftanna sem valda hreyfingunum. Í merkri grein um eðli lofttegunda sem Maxwell lagði einnig fram á árinu 1866, viðrar hann ný hugtök eins og „slökunartími“ (relaxation time) og nefnir að í aflfræði-hegðun raunverulegs efnis geti eftir aðstæðum komið fram bæði eiginleikar seigs vökva og fjaðrandi þéttfnis. Það er ekki útilokað, að eitthvað af þeim almennu hugmyndum Maxwells um aflfræði efna eigi rót að rekja til tilrauna hans á vökvum með skautað ljós. Maxwell-hrifin voru síðar rannsökuð nánar af Kundt (1881), nemendum hans og öðrum, s.s. Hill (1899), Metz (1902) og Zakrzewski og Kraft (1905). Þau reyndust vera nokkuð flókið fyrirbrigði í mörgum tilvikum (Coker og Filon 1931, bls. 286-288); sjá um þróun eftir 1920 í kafla 36.8.

27.4 Rannsóknir E. Fischers á sykri o.fl.

Sú grein lífrænnar efnafræði sem fékkst við þrívíddarbyggingu sameinda og ekki síst „hendni“ þeirra (stereoisomerism), efl-dist mjög um leið og menn áttuðu sig á réttmæti sjónarmiða J.H. van't Hoff's og J.A. Le Bels frá 1874. Að minnsta kosti tugur kennslubóka um þessa grein sem hlaut nafnið „Stereochemie“ kom út fyrir aldamótin 1900 (*Mynd 27-5*).

Einn merkasti afreksmaðurinn í þessari fræðigrein var Emil Fischer. Hann skapaði lífefnafræðinni efnafræðilegan grundvöll með rannsóknum á sykurefnum, ensímum, próteinum

DAS OPTISCHE
DREHUNGSVERMÖGEN

ORGANISCHER SUBSTANZEN

UND

DESSEN PRAKTISCHE ANWENDUNGEN

BEARBEITET VON

Dr. H. LANDOLT

PROFESSOR DER CHEMIE AN DER UNIVERSITÄT ZU BASEL

ERSTE MITWIEDERUNG VON

Dr. O. SCHÖNRÖCK,

Dr. P. LINDNER, Dr. F. SCHÜTT, Dr. L. BERNDE, Dr. T. FÖRSTER

ZWEITE

GÄNZLICH UMGEARBEITETE AUFLAGE

MIT EINGEDRUCKTEN ABBILDUNGEN

BRAUNSCHWEIG

DRUCK UND VERLAG VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN

1898

Lehrbuch

der

Stereochemie

VON

Dr. A. Werner,

ord. Professor der Chemie an der Universität Jena.

Mit 116 Abbildungen im Text.



Jena,

Verlag von Gustav Fischer.

1904.

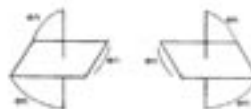
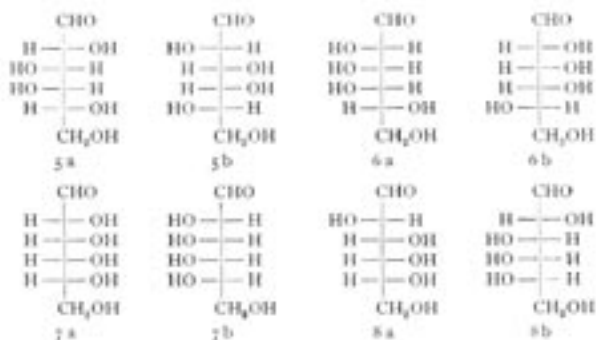


Fig. 6.

In this case, the asymmetrical structure of the molecules is thus wholly dictated by the spatial arrangement of the groups, and is entirely independent of the nature of the groups linked together. It therefore appeared to be particularly important for our conceptions of the origin of the optical activity of chemical molecules to establish whether such asymmetrical molecular structure also results in optical activity. This is in fact the case. In four different metals we succeeded in resolving compounds of this kind into optical isomers, i.e. in the case of cobalt, chromium, rhodium, and iron. For the first three metals we obtained in optically active form the triethylenediamine compounds.



Mynd 27-5. Að ofan: Mikill áhugi á optiskri virkni lífrænna efnasambanda kringum aldamótin 1900 endurspeglast í bók Landolts (1898) sem fjallar um yfir 700 efni. Margar bækur komu einnig út um þrívíddar-efnafræði (Stereochemie) almennt. Að neðan t.v.: Fjögur af átta mögulegum spegilmyndapörum sykurs af tegund aldohexósa. E. Fischer hlaut Nóbelsverðlaun sín 1902 m.a. fyrir grundvallar-rannsóknir á þeim. T.h.: Úr erindi A. Werners við afhendingu Nóbelsverðlauna 1913 (www.nobelprize.org), þar sem hann lýsir mikilvægi mælinga á optiskri virkni við staðfestingu kenninga sinna um efnatengi.

og purin-efnum (en þeim tilheyra m.a. adenin og guanin, sem eru hluti kjarnsýra í frumum). Eins og fram kom í kafla 13.2 voru tvær tegundir aldóhexósa vel þekktar úr náttúrunni þegar Fischer hóf þessar rannsóknir: glúkósi og galaktósi, sem báðir sneru skautunarplani ljóss til hægri. Hann áttaði sig á því að alls ætti að vera hægt að búa til 8 hægri-vinstri pör af aldóhexósum með mismunandi byggingu. Með snjöllum tilraunum sem hófust um 1887 og nýttu að hluta fyrri niðurstöður annarra, tókst Fischer að sanna hver bygging þessara tveggja einsykrunga væri og búa þá til auk flestra hinna 14 (*Mynd 27-5*). Mælingar á optiskri virkni efnanna með polarimeter voru ómissandi hluti rannsóknanna, sjá meðal annars Fischer (1890a,b,c,d,1894a). Svo dæmi sé tekið, nefndi hann eina sykurttegundina (sem hann notaði örverur við að greina sundur hægri og vinstri gerð af) mannósa, og fannst hún síðar í orkideum og víðar. Sömuleiðis bjó hann til ketohexósana frúktósa og sorbósa, tvísykrunga (fyrst isomaltósa, sjá Fischer 1895), aðrar sykurttegundir og mörg skyld efni. Fleiri lögðu þarna gagnlegar niðurstöður til málanna, svo sem Bruyn og Ekenstein (1895) sem sýndu með hjálp polarimetra að í basiskri lausn gæti t.d. glúkósi breyst að hluta í frúktósa og mannósa. Thierfelder (1890) sló því föstu m.a. með polarimeter-mælingum, að sykurefni sem fundist hafði 1867 í heilavef, væri galaktósi.

Fischer rannsakaði vensl hexósanna við pentósa (með fimm C-frumeindum) og bjó 1891 til nýjar gerðir þeirra til viðbótar við þá tvo aldópentósa sem voru þekktir áður úr náttúrulegum efnum, xylósa og arabínósa. Einn þeirra þeirra nýju var kallaður ribósi (Fischer og Piloty 1891). A. Kossel fann síðan 1893 að í kjarnsýrum fruma var kolvetnissamband sem hann taldi vera pentósa-sykur. Levene og Jacobs (1909) einöngruðu þennan pentósa úr kjarnsýrum, og komu bræðslumark hans sem og optisk virkni heim við gildi fyrir ribósa sem aðrir höfðu þá smíðað. Er ein tegund þessara kjarnsýra, RNA, raunar kennd við hann. Í kjarnsýrunum DNA hefur vetni komið í stað OH-hóps á einu kolefninu, sjá meðal annars Levene o.fl. (1930) sem staðfestu það að hluta með mælingum á optiskri virkni. Adenosín-þrífosfat (ATP), sem fannst 1929 og gegnir lykilhlutverki í orkubúskap fruma, inniheldur ribósa-sameind.

Fischer (1894b) dró eftirfarandi mikilvæga ályktun af rannsóknum á virkni ensíma úr mismunandi gersveppum við gerjun sykurs: „Um ein Bild zu gebrauchen, will ich sagen, dass Enzym und Glucosid wie Schloss und Schlüssel zu einander passen müssen, um eine chemische Wirkung auf einander ausüben zu können.“ Þetta staðfesta einnig Fischer og Thierfelder (1894): „...dass die Gährfähigkeit in naher Beziehung zum geometrischen Bau des Moleküls steht, mithin geradezu als eine stereochemische Frage bezeichnet werden darf.“ Og eins og Fischer (1898-99) kom einnig inn á, liggur þrívíddar-efnafræðin allri starfsemi lífvera til grundvallar. Sjá Viðauka 5.

Auk fyrrnefnds mikilvægis í lífefnafræði urðu rannsóknir Fischers að sjálfsögðu brátt mjög þýðingarmiklar fyrir allan iðnað tengdan sykurefnum, sterkju, sellulósa og efnasamböndum af svipuðum toga (sjá Pringsheim 1925). Nefna má brautryðjenda-tilraunir Willstätters og Zechmeisters (1913) varðandi umbreytingu sellulósa yfir í ein- og tvísykrunga með saltsýru, sem „...lässt sich von Anfang bis zum Ende mit dem Polarimeter beobachten“.

Ýmsir höfðu kannað optiska virkni próteina úr náttúrunni frá því um miðja 19. öld. Einnig var ljóst að þær ca. 20 aminósýrur sem þau eru öll samsett úr, hafa allar optiska virkni (*Mynd 16-1* neðst t.h.) nema ein (glycin), og er snúningurinn til hægri í sumum (sem er kallað d eða +) en vinstri í öðrum (l eða -). Hinsvegar má skilgreina á annan hátt hendni byggingar sameindanna, og er sá eiginleiki auðkenndur með D eða L. Allar aminósýrur í próteinum eru af L-gerð. Fischer (m.a. 1899) gerði nýjar uppgötvanir á þessu sviði, og skrifaði m.a. yfir 30 greinar um smíði aminósýra og próteina á árunum 1903-09. Við það notaði hann í byrjun þá aðferð (ættaða frá Pasteur) að deila optiskt óvirkum aminósýru-blöndum í tvo virka þætti með hjálp alkaloida. Einnig nýtti Fischer sérstaka og óvænta tegund efnahvarfa sem P. Walden (1896, 1919; sjá D.S.B.) hafði fundið. Með þessari „Walden'sche Umkehrung“ (Fischer 1906)

er á einfaldan hátt hægt að búa til vinstri-snúandi efni úr hægri-snúandi gerð sama efnis og öfugt. Urðu þau hvörf rannsóknarefni margra í áratugi, og líka sá eiginleiki sumra aminósýra og skyldra efnasambanda, að sýni af hreinu D- eða L- efni breytist smám saman í optískt óvirka blöndu (racemization).

Polarimeter-mælingar komu mjög víða við sögu rannsókna á aminósýrum, afleiðum þeirra, og próteinum fram eftir 20. öld, meðal annars smíði nýrra efna í þeim flokkum. Verða aðeins fáein dæmi nefnd hér af handahófi. Osborne og Harris (1903) mældu vandlega optíska virkni a.m.k. tylft próteina úr jurtaríkinu. Levene og van Slyke (1909) taka fram í niðurstöðum um hliðstæðar rannsóknir á kaseini o.fl.: „An exact analysis of the important leucin fraction of proteins is thus rendered possible for the first time“. Komu slíkar athuganir eflaust mjög að gagni við frekari þekkingaröflun um þessi efni fyrir lífeðlisfræði, lyfjapróun, landbúnað, matvælaíðnað o.s.frv. Sjá m.a. í grein Dills og Alsbergs (1925) um optíska virkni gliadin-próteina í hveiti: „The properties of flour depend largely upon the proteins it contains“. Í umfjöllun um rannsóknir Fischers á hinni algengu aminósýru cystini, segja Toennies og Lavine (1930): „The only practical quantitative criterion for the purity of l-cystine is its optical rotation“.

27.5 Rannsóknir A. Werners á ólífrænum efnum

Í nokkra áratugi var kolefni eina frumefnið sem vitað var að myndaði sameindir með speglunar-samhverfu. Ekkert átti þó að vera því til fyrirstöðu að önnur frumefni með gildi 4 eða hærra gætu gert þetta, og var leitað að þeim, m.a. af ungum efnafræðingi, A. Werner. Sjá grein eftir Hantzsch og Werner (1890) sem leitast við að skýra eiginleika svonefndra azo- og oxim- köfnunarefnissambanda út frá því sjónarmiði að köfnunarefni geti myndað ósamhverfar sameindir. Hún er ein af grundvallargreinum um þrívíddar-efnafræði köfnunarefnis.

Werner ritaði þekkta kennslubók um þrívíddar-efnafræði (Werner 1904) og varð stórtækur í rannsóknum á öðrum ósamhverfum frumeindum en kolefni fram undir 1920. Meðal annars setti Werner fram hugmynd um svonefnd „coordination“-efnatengi, og bjó til mikinn fjölda efna kringum ósamhverfar frumeindir t.d. af kóbolti, krómi og platínu (Werner 1893, 1906). Mælingar með polarimeter voru eins og hjá Fischer í fyrri kafla, ómissandi þáttur í árangri hans (sjá t.d. Douglas 1994, og *Mynd* 27-5). Fáir tóku kenningar Werners alvarlega lengi vel (sjá t.d. Stewart 1919), en Lowry (1935, bls. 72) segir að 1911 hafi þær fengið „... immediate and almost universal recognition, as the result of the preparation of an optically active salt, the dissymmetry of which could not have been foreseen apart from the hypothesis of coordination.“ Þetta var flókið kóbalt-samband (Werner 1911), og ritaði hann margt um slík efni á næstu árum. Þar á meðal voru efnasambönd með optíska virkni en alveg án kolefnis. Í fyrstu grein Werners (1914) um þau stendur t.d.: „... die Untersuchung... begegnete... mancher Schwierigkeit, und nur das ganz ausserordentlich grosse Drehungsvermögen... bot... eine wesentliche Erleichterung“. Nokkrar merkustu greinar hans hafa verið gefnar út í enskri þýðingu af G.B. Kauffman (1968), sem segir í formála að sú síðastnefnda „... silenced even Werner's most sceptical opponents... The last brick in the crumbling wall of separation between inorganic and organic chemistry had been razed.“

Gjörbreyttu rannsóknir Werners skoðunum manna um eðli efnatengja yfirleitt. „The implications of his research have been of inestimable value in biochemistry, and in analytical, organic, and physical chemistry, as well as in mineralogy and crystallography.“ (Dictionary of Scientific Biography 1980-90, stytta). Sjá Viðauka 5. Dæmi um efnasambönd af því tagi eru heme-hópurinn í blóði hryggdýra, hemocyanin í hryggleysingjum, B₁₂-vítamín, blaðgræna,

málmsilikat-steindir í bergi, hydröt, ýmis lyf, litarefni, og hvatar. Mikilvægur flokkur þessara sambanda gengur undir nafninu gripefni (chelation compounds), og eru þau notuð mjög víða í efnaiðnaði, landbúnaði, matvælaframleiðslu, hreinsun vatns, lyflækningum, o.s.frv.

Fyrsta sameindin sem tókst að smíða og með vissu innihélt N-frumeind með speglunar-samhverfu, var flókið ammoniumsamband (Pope og Peachey 1899). Eftir það fundust fljótlega önnur slík köfnunarefnissambönd, en í öllum var þó kolefni og var því á tímabili hugsanlegt að það stýrði á einhvern hátt þessari ósamhverfu. Pope og samstarfsmenn smíðuðu fyrir 1910 spegilsamhverfar sameindir (þ.e. með optiska virkni) kringum m.a. tin-, selen-, brennisteins- og kísilfrumeindir. Lowry (1935, bls. 54) segir nýjar aðferðir, sem þeir innleiddu, hafa verið „...the first really new experimental development since the work of Pasteur half a century before.“ Hvað varðaði kísil sérstaklega, höfðu Ch. Friedel og samstarfsmenn sýnt fram á það um 1865 að kísilfrumeindin er að ýmsu leyti hliðstæða kolefnis, enda fjörgild og getur komið í stað þess í sameindum. Í framhaldi af því hóf F.S. Kipping rannsóknir á optiskt virkum kísil-kolefnis-samböndum um aldamótin (sjá t.d. Challenger og Kipping 1910) og skrifaði með samstarfsmönnum sínum fimmtíu greinar um þau í J. Chem. Soc. fram til 1935. Leiddi það síðar til smíða á svonefndum silicone-efnum; bygging þeirra er svipuð kvarsi (SiO_2) en með t.d. metyl-hópa í stað súrefnis að hluta. Í yfirlitsgrein kvaðst Kipping (1937; sbr. einnig D.S.B.) enn ekki sjá fyrir sér neina hagnýtingu þessara kísilsambanda, en viti menn, þau urðu mjög mikilvæg í margskyns iðnaði og tækni upp úr 1940.

Ýmsar afleiðingar sjónarmiða Hantzsch og Werners voru lengi umdeildar, og varðaði til dæmis ein þeirra oxim (sem eru sambönd hydroxylamins og aldehyða eða ketona). Í kafla um efnafræðinginn W.H. Mills í D.S.B. er sagt að honum hafi á árinu 1931 tekist að staðfesta Hantzsch-Werner kenningarnar að þessu leyti með því að smíða tiltekna sameind með optiskri virkni, sem aðeins átti að koma fram ef þær voru réttar.

27.6 Hraði og jafnvægi efnahvarfa

Eftir að áður nefnt massavirkni-lögmál um efnajafnvægi var komið fram, rannsökuðu ýmsir það hvernig efnahvarf gengur fyrir sig sem fall af tíma, við mismunandi hitastig eða aðrar breytilegar aðstæður. Niðurstöður geta sagt mikið um það hvort hvarfið gerist í einu skrefi eða fleirum mis-hröðum. Nokkrar aðferðir við þessar rannsóknir voru prófaðar, t.d. að mæla litarbreytingar, en mælingar á optiskri virkni lausnar reyndust einnig vel þar sem þær áttu við. Ostwald (1884) notaði þannig Laurent-polarimeter til að endurtaka og útvíkka tilraun Wilhelmys (1850) um áhrif síru á sykur (inversion) sem nefnd var í kafla 18.1. Það var einn þáttur í merkjum athugunum Ostwalds á þessu sviði, sjá Viðauka 5. Meðal annarra gerðu svo Urech (1880 og síðar), Arrhenius (1889), og H.E. Armstrong ásamt samstarfsmönnum (t.d. Armstrong o.fl. 1908, Worley 1912) ýmsar tilraunir á þesskonar hvörfum, og segja til dæmis Rolfe (1905, bls. 254) og Dictionary of Scientific Biography (1980-90, um Arrhenius) þarna hafa verið settar fram jöfnur um áhrif hitastigs á hvarfahraðann. Í kafla 22.2 voru nefndar tilraunir Wills og Bredigs (1888) á alkaloidum, sem einnig gáfu áhugaverðar niðurstöður um massavirknilögmálið.

Einna merkasta viðfangsefnið af þessu tagi þar sem polarimetrar gegndu allstóru hlutverki, var klofnun súkrósa (inversion) af völdum gerfrumu-lífhvatans invertasa. O'Sullivan og Tompson (1890) rituðu stóra grein um þesskonar rannsóknir, sem vakti athygli. Aðferðir við þessar rannsóknir á hvarfahraða í gerjun sykurs voru endurskoðaðar (t.d. Henri 1901, Brown 1902, Armstrong 1904, Hudson 1908) eftir að E. Buchner sýndi fram á það 1897-98 að

gerfrumurnar sjálfar þurftu ekki að vera til staðar við gerjunina. Sjá m.a. yfirlitsgrein Caldwells (1906) um þessar rannsóknir og um kenningar þar að lútandi.

Upp úr aldamótunum var einnig farið að rannsaka það nánar hvernig lífverur nýta sér þá orku sem fylgin er í glúkósa, og sýndu m.a. A. Harden og W.J. Young fram á það 1908 að fosfat skipti miklu máli í þeim ferlum. Eins og ofannefndur Buchner og ýmsir aðrir, notuðu þeir oftast mælingar á magni koldíoxíðs í þessum rannsóknum sínum, en þó hef ég fundið greinar um þær sem byggja að talsverðu leyti á polarimeter-mælingum (Young 1909, Harden og Young 1913). Sjá Viðauka 5.

Stórt framfaraskref varðandi hvötuð lífræn efnaferli var síðan stigið með ítarlegri grein eftir Michaelis og Menten (1913) um gerjunarrannsóknir, framkvæmdar með polarimeter. Þar voru ýmsir vankantar sniðnir af fyrri mæliaðferðum og sett fram einfalt almennt líkan á formi diffurjöfnu um hraða þessara hvötuðu efnahvarfa. Í bók sinni *Fundamentals of Enzyme Kinetics* (1995-útgáfu) segir A. Cornish-Bowden að Michaelis og Menten séu „...regarded as the founders of modern enzymology“ fyrir þetta sameiginlega framlag, þótt það hafi ekki hlotið mikla viðurkenningu fyrr en um 1930 (skv. D.S.B.). Flóknari líkön um gang hvataðra efnahvarfa komu fram smátt og smátt síðar. Willstätter og Kuhn (1923) ræða aðferðir til að meta magn og virkni lífhvata, og er að sjá sem polarimeter-mælingar gegni þar mikilvægu hlutverki í sumum tilvikum.

Eftir því sem menn náðu betri tókum á að búa til lífhvata, hreinsa þá, geyma, og stýra virkninni, urðu þeir mikilvægir í ýmsum efnaiðnaði. Hvað sykur áhrærði, var áður nefndur invertasi byrjaður að koma í stað saltsýru í aðferð Clergets við mat á súkrósa-magni í lausn upp úr 1910 (Hudson 1910a, Browne 1912). Í rófusykur-framleiðslu þurfti að auki stundum að finna hve sýni af sykurlausn innihéldi mikið af tvísykrungnum súkrósa og hve mikið af þrísykrungnum raffinósa, sem einnig hefur optiska virkni. Þetta var venjulega leyst með því að láta saltsýru kljúfa báða í tvennt og mæla virknina fyrir og eftir. Paine og Balch (1925, 1927) sýndu fram á, að nákvæmari niðurstaða fékkst með þrem mælingum, ef invertasi klauf þá fyrst í tvennt og annar sérhæfður lífhvati klauf síðan tvísykrunginn úr raffinósanum í einsykrunga.

27.7 Mutarotation-fyrirbrigðið

Dubrunfaut (1846) veitti athygli breytingum sem urðu á optiskri virkni glúkósalausnar með tíma án sýnilegrar ástæðu. Síðari mælingar sýndu, að strax eftir að glúkósi var leystur upp (eða myndaður við inversion) í vatni var eðlis-snúningur hans um 110° , en minnkaði svo á nokkrum klukkutímum í 52° . Pasteur (1856) og fleiri fundu að svipað gilti um sumar aðrar sykurttegundir og síðar ýmis skyld sambönd sem öll höfðu tiltekna efnaeiginleika. Í ljós kom á næstu áratugum, að sameindir slíkra efna uppleystar í vatni (eða öðrum leysiefnum) gátu haft tvenns- eða þrennskonar lögun, með lítilla mismunandi stöðuorku. Þessar mismunandi gerðir sameindarinnar voru síðan sífellt að breytast hver í aðra í lausninni af völdum árekstra: í byrjun leysi-ferlisins voru sameindirnar allar eins, en jafnvægisástand fjöldahlutfalla í lausninni komst á þegar jafnmargar voru að breyta lögun sinni í aðra áttina eins og hina á hverri sekúndu.

Fjölþættar rannsóknir á hraða þessara hvarfa og áhrifum hitastigs á þau tengdust síðan öðrum rannsóknum á byggingu og lögun viðkomandi sameinda, og víxlverkun þeirra við leysiefnin. Polarimetrar voru heppilegir til að fylgja eftir þessum hægu hvörfum, því að mælingar með þeim voru mjög nákvæmar og trufluðu ekki gang hvarfanna. Hvað varðaði glúkósann, fann Tanret (1895) nýtt kristalform hans sem hafði eðlis-snúning $22,5^\circ$ strax eftir upplausn en breyttist svo í 52° . Reyndist glúkósinn síðar vera að mestu á tveim hringlaga formum (gluco-

pyranose) í vatnslausn: 64% af honum var þeirrar gerðar sem Tanret hafði fundið (β -form) og 36% var af hinni gerðinni (α -form). Upphaflega voru breytingarnar á optisku virkninni kallaðar multirotation, birotation o.fl., en fengu samnefnið mutarotation frá 1899 (að tillögu T.M. Lowrys í grein um merkar athuganir hans á nítrókamfóru, sjá Lowry 1935, XXII. kafla). Frekari athuganir sýndu m.a., að súkrósi er samband α -glúkósa og β -frúktósa. Um uppgötvanir Dubrunfauts og Tanrets segir Hudson (1910b) í stuttri yfirlitsgrein, að efnafræðingar heims hljóti að standa í mikilli þakkarskuld við frönsk vísindi „because more fruitful single discoveries in the chemistry of the carbohydrates have hardly been made“. Í greinarlok telur Hudson það vera að koma í ljós, að „the unfolding chemistry of the polysaccharides is to be largely a development of the mutarotation reaction“.

Bruhat (1930, bls. 207) segir að mutarotation-fyrirbrigðið „...a permis de découvrir un certain nombre de réactions lentes qu'on n'aurait jamais soupçonnées sans elle et de déterminer les constantes d'équilibre et les vitesses de transformation qui leur correspondent: son étude a ainsi joué un rôle fondamental dans l'établissement expérimental des lois de la Mécanique chimique des solutions.“. Hér má einnig vitna til ræðu L. Onsagers við veitingu Nóbelsverðlauna í efnafræði 1968, fyrir uppgötvun nýrra varmafræði-lögmála: segir hann að eitt af því sem hafi komið sér þar á sporið, hafi verið nákvæmar mælingar C.N. Riibers og samstarfsmanna (t.d. Riiber og Minsaas 1926) um miðjan þriðja áratug aldarinnar á mutarotation sykurlausna og fleiri eiginleikum þeirra.

27.8 Ljósrofur og skyld ferli

Ljós hefur áhrif á raf-eiginleika sumra málma og hálfleiðara, svo sem á eðlisviðnám í selen (fyrst kynnt 1873) og ýmsum málmsúlfiðum. H. Hertz uppgötvaði síðan 1887 í tengslum við tilraunir sínar á rafbylgjum (kafla 28.4), að ef lýst var á málmflöt með útfjólubláu ljósi þá leiddi loftið utan hans betur rafstraum en ella. Það reyndist stafa af því að ljósið þeytti rafeindum út úr málmfletinum. Upp úr 1890 var þessi ljósrofur (photoelectric effect) orðin allvel þekkt, einkum í alkalmálmunum. Kom skautað ljós nokkuð við sögu fyrstu tilrauna á henni (t.d. Elster og Geitel 1894, 1895) og í frekari rannsóknum á eðli ljósnæmra efna (t.d. Drude 1898, Edmunds 1904, Kunz 1909, Elster og Geitel 1909, Duncan og Duncan 1912, Brown 1914, Frehafer 1920). Þannig sýndu athuganir með áfallandi skautuðu ljósi, að beint samband væri milli ljósmagnsins sem málmur gleypir, og ljósrofunar-straumsins.

Eins og fram kemur í kafla 36.5, var ljósrofunin eitt þeirra fyrirbrigða sem kenning Einsteins um ljósagnir útskýrði, en agnirnar héldu þó á sinn hátt skautunar-eiginleikum ljósbylgna. Elster og Geitel fundu nefnilega, að ljósrofunarstraumurinn (þ.e. fjöldi rafeinda sem ljósið losar frá málmyfirborði) gat orðið miklu meiri þegar rafsviðsvektorinn í ljósinu var hornrétt á málmflötinn heldur en þegar hann var samsíða fletinum. Í fyrri tilfellinu (sem kallað var selektiver Photoeffekt) má einmitt hugsa sér að sviðið sé að toga rafeindirnar út úr málminum. Þetta atriði var prófað nánar af ýmsum öðrum (t.d. Hughes 1916) með hjálp Nicol-prisma.

Auk þessara nota voru tvö Nicol-prismu iðulega höfð til að breyta ljósmagni nákvæmlega við prófanir og stillingar á rafrænu nemunum (m.a. Elster og Geitel 1912, 1913, Schulz 1913, Pohl og Pringsheim 1914 og rit tilvitnuð þar, Nathanson 1916, Kunz 1917, Ives 1924). Með aukinni þekkingu á þessum rafáhrifum ljóss, sem voru bæði flókin og viðkvæm, hófu rafrænir ljósnemar að ryðja sér til rúms hjá stjörnufræðingum um 1913. Þeir urðu brátt einnig mikilvægir við ljósmyndun, prentun, og á margskonar öðrum vettvangi.



28 Meira um rannsóknir á silfurbergi, 1880-1900

28.1 Ætímyndir í silfurbergi o.fl. kristöllum

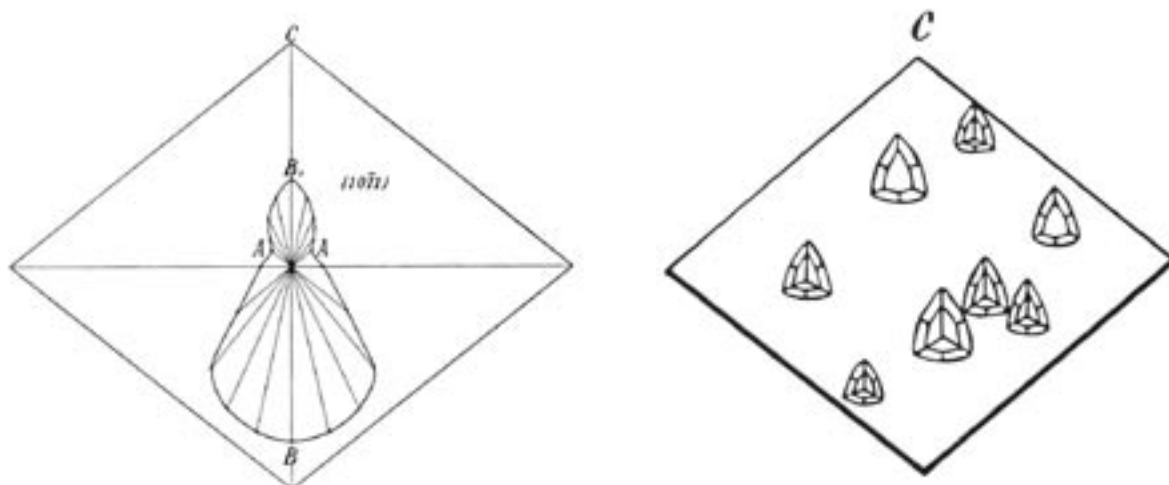
Æting er rannsóknaaðferð í kristallafræði, sem var fyrst lýst af J.F. Daniell 1816. Þá er sýra eða basiskur vökvi látinn standa á slípuðu yfirborði kristalls nokkurn tíma, og það síðan skoðað í smásjá eftir að vökvinn er þveginn af. Yfirborðið leysist ekki upp jafnhvatt allsstaðar, heldur myndast iðulega smá-pyttir í það (Ätzfiguren, e.t.v. kringum veilur í kristallinum). Þessir pyttir geta verið mjög reglulegir (*Mynd 28-1A*), og endurspegla þeir þá samhverfu viðkomandi kristalls. Hana er stundum erfitt að sjá í fljótu bragði úr útliti kristallsins, hornamælingum o.þ.h. Þessar athuganir tengdust einnig mælingum á stefnuvirkri hörku kristalla, sem áður var nefnd, og hélt tækjapróun á því sviði áfram, sjá *Mynd 28-1A*.

Íslenskt silfurberg kom nokkuð við sögu þessara aðferða. Meðal þeirra sem skrifuðu um ætítilraunir á því fyrir aldamótin, voru Baumhauer (1869), Meyer (1883), Ebner (1884, 1885), og Hamberg (1890). Skyldar þessum rannsóknum voru mælingar á hraða sýruætingarinnar við ýmis skilyrði (t.d. Cesaro 1889, Spring 1888, 1890) og á því hvaða form silfurbergskúla tæki (Lösungskörper) við að vera sökkt í ætandi vökva (Lavizzari 1865, Gaubert 1901). Ljósblettirnir sem nefndir voru í kafla 21.3 hér að ofan og voru einnig rannsakaðir af Schmidt (1888), geta eflaust í einhverjum tilfellum tengst því að kristallar hafi verið að leysast upp þar sem þeir fundust.

28.2 Frekari tilraunir á ljósbroti í silfurbergi o.fl. vegna tilgátu Huyghens

Hastings (1888) í Bandaríkjunum kvað tilraunir Glazebrooks (1880a, sjá kafla 21.2) á ljósbroti í silfurbergi hafa staðfest tilgátu Huyghens með um 1/10000 nákvæmni. Hann bætti sjálfur um betur með nýjum mælingum, og kom frávikinu niður í 1/500000. Nefna má í framhjáhlaupi, að Bandaríkjamenn voru mestalla 19. öldina verulegir eftirbátar Evrópumanna á flestum sviðum ljósfræði, steindafræði o.fl. vísindagreina sem hér hafa komið við sögu. Í sjóntækjasmíð tóku þeir ekki vel við sér fyrir en 1916, og fóru um það leyti fram úr Evrópumönnum í ýmsu er varðaði ljósmælingar og lýsingartækni.

Glazebrook (1882), Schrauf (1885-86), Conroy (1886), Nörrenberg (1888) og Schmidt (1889) endurbættu mjög fyrri tilraunir Brewsters (1819), Seebecks (1831) og Neumanns

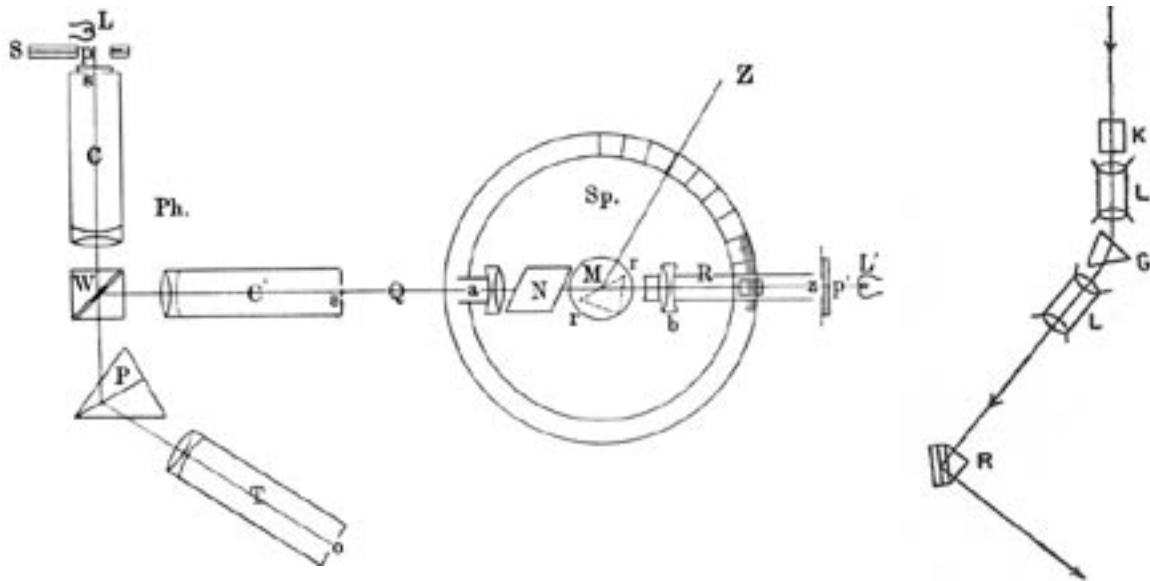


Mynd 28-1A. T.v.: Hörkumælingar á klofningsfleti silfurbergs, gerðar með sklerometer. Lengd strikanna er í hlutfalli við kraftinn sem þarf til að gera rispu með demantsoddi í þá átt. Myndin er líklega tekin úr doktorsritgerð E. Müllers frá 1906. T.h.: Flötur af silfurbergi eftir ætingu með saltsýru. Úr Linck (1923), C er gleiða horn kristallsins.

(1835,1837) varðandi brothorn og endurvarp ljóss á silfurbergsflötum. Malus, Biot og síðar Abria (1873) höfðu haft að einhverju leyti rangar hugmyndir um það. P. Drude, sem hafði verið að rannsaka endurkast skautaðs ljóss frá m.a. kalkspati og salti (sjá Drude 1889a), lenti síðan í deilu við Schmidt um það að hve miklu leyti slípun yfirborða á kristöllum gæti breytt niðurstöðum svona mælinga (Drude 1889b, sjá einnig Spurge 1887).

W. Kohlrausch (1879), Danker (1886), Pulfrich (1887) og Mülheims (1888) mældu brotstuðlana í silfurbergi, gífsi o.fl. efnum með svokölluðu algeru endurkasti ljóss (Totalreflexion), og komu niðurstöðurnar heim við formúlur sem Senarmont, Ketteler, og Liebisch (t.d. 1885) höfðu leitt út úr kenningum Fresnels. Carvallo (1890) staðfesti þá niðurstöðu Swans (1849) að venjulegi brotstuðullinn í silfurbergi væri óháður stefnu.

Ekki voru mörg önnur kristölluð efni en silfurberg rannsökuð ítarlega hvað varðaði tilgátur Huyghens og Fresnels um vensl innfalls- og brothorna. Þó má telja þar t.d. mælingar McConnells (1886) á ljósbroti í kvarsi, og Brunhes (1893) mældi vandlega endurkast ljóss inni í kvarsi og silfurbergi sem reyndist koma heim við áður nefndar formúlur J. MacCullaghs. Born (1887) gerði nokkrar athuganir á dolomiti og anglesiti með hliðsjón af fræðum Liebischs (1886), og Nakamura (1903) staðfesti að tilgátur Huyghens og Fresnels giltu einnig í turmalini þrátt fyrir ljósgleypni þess. Hvað varðaði endurkast ljóss frá flötum einsátta einangrandi efna, mátti löngu fyrir 1890 telja formúlur Fresnels um styrk þess vera fyllilega staðfestar með ýmsum óbeinum hætti. Einnig hafði sá styrkur verið mældur af Glan (1874) eins og nefnt var í köflum 18.4 og 27.8, svo og af H. Knoblauch o.fl. þegar um varmageislun var að ræða. Nákvæmari ljósmælingar til samanburðar við formúlurnar voru gerðar m.a. af Glan (1893) með skautunarljósmæli, og stuttu síðar með öðrum tegundum ljósmæla (og Nicol-prismum til skautunar) af Rayleigh lávarði og af Murphy (1897), sjá *Mynd 28-1B* og Lummer (1909).



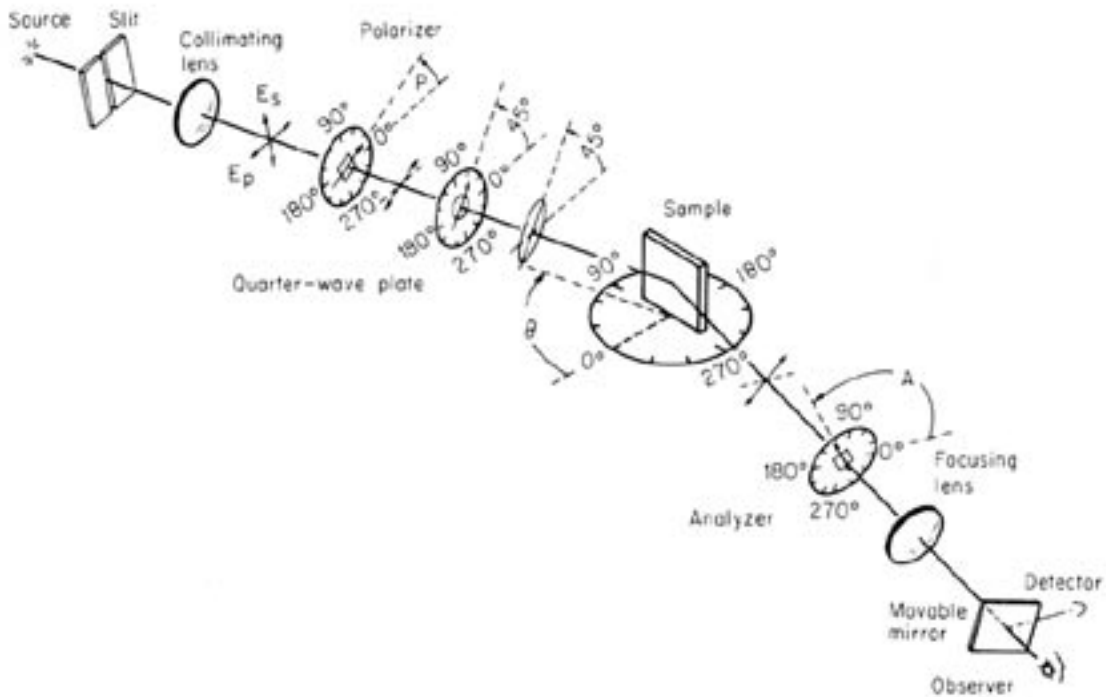
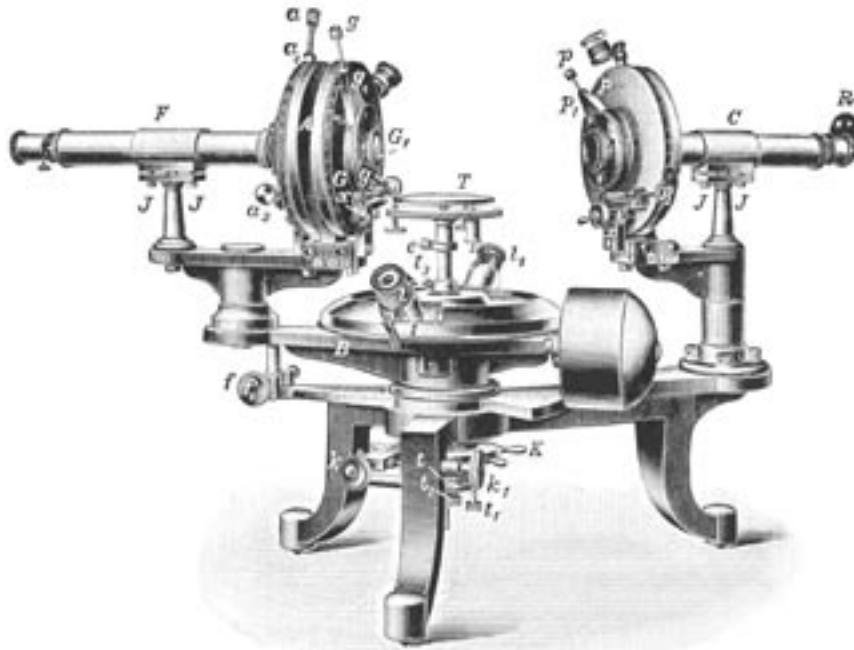
Mynd 28-1B. T.v.: Prófun á lögmálum Fresnels um endurkast skautaðs ljóss frá glerfleti M, gerð af Murphy (1897). N er Nicol-prisma. Ljós magnið er mælt vinstra megin með Lummer-Brodhun litrófs-ljósmaeli sem var einn helsti keppinautur skautunar-ljósmaela. T.h.: Hluti tilraunar Wieners (1890) um endurkast ljóss frá málmfleti í R. Hún gaf mikilvæga staðfestingu á kenningum J.C. Maxwells um eðli ljóss. K er kalkspat-prisma.

28.3 Ljóstvístur í silfurbergi, og fleiri eiginleikar

Sarasin (1882) mældi brotstuðla silfurbergs fyrir sýnilegt og útfjólublátt ljós, sömuleiðis Carvallo (1900) á mjög breiðu bili bylgjulengda. Dufet (1891, 1893) mældi brotstuðlana einnig nákvæmlega, benti á skekkjuþætti í eldri mælingum og bar breytingu stuðlanna með bylgjulengd saman við ýmsar kennilegar formúlur. Gifford (1902) mældi ljósbrot silfurbergs o.fl. efna við ýmsar bylgjulengdir með 7 aukastöfum, en líklega eru þar aðeins 5 marktækir (Hintze 1930). Vogel (1885), Offret (1890) og Reed (1898) mældu breytingar brotstuðla í silfurbergi með hitastigi.

Með vaxandi áhuga fyrir ýmiskonar rannsóknum á og með innrauðu ljósi þurfti meðal annars að kanna dofnun þess í silfurbergi. Sjá um það Nichols og Snow (1892), Merritt (1894-95), Königsberger (1897), og Stewart (1897) sem notar nákvæmar mælingar á silfurbergi til að gera upp á milli þriggja kenninga um dofnun ljóss í kristöllum almennt. Um útfjólublátt ljós sjá kafla 29.8, og nánar í kafla 34.2. Flúrljómun silfurbergs var athuguð m.a. af Lommel (1884), Sohncke (1897) og Schincaglia (1900). Chauvin (1889) mældi Faraday-hrif í silfurbergi, en það hafði ekki tekist fyrr.

Í 15. kafla var þess getið að Plücker og Beer, og einnig Tyndall og Knoblauch, hafi sýnt fram á með mælingum um 1850 að seguleiginleikar silfurbergs og sumra annarra kristalla voru mismunandi eftir stefnu. Þær mælingar gáfu þó aðeins hlutföllin milli viðkomandi segulstuðla, en ekki töluleg gildi þeirra (absolute values). Rowland og Jacques (1879) reyndu að mæla þessi tölugildi í fjölda mótseglandi efna, en vegna járn-óhreininda í þeim heppnaðist tilraunin aðeins fyrir bismút-málm og kalkspat (ekki sagt hvaðan). Voigt og Kinoshita (1907; Voigt 1910, bls. 494) segja þá félagi að auki hafa gert einhver mistök, þannig að Stenger (1883) hafi framkvæmt fyrstu marktæku mælinguna á mótsegularstuðlum kristalls, á íslensku silfurbergi.



Mynd 28-2. Að ofan: Vandað tæki til nákvæmra athugana á skautunarástandi ljóss við mismunandi bylgjulengdir. Endurbót Leiss (1905) á eldri hönnun eftir Th. Liebisch. Ljósíð kemur frá hægri, á pallinn T má setja t.d. prisma eða ljósgreiðu. Myndin er úr verðlista R. Fuess (um 1910). Að neðan: Skýringarmynd af gerð tækis svipaðs útlits, til að kanna breytingar á skautun ljóss (frá vinstri) við endurkast t.d. frá málmflötum og þynnum. Slík tæki sem voru notuð af P. Drude og mörgum öðrum frá því fyrir 1890, voru síðar bætt með m.a. rafrænum ljósmælum og fengu heitið ellipsometrar. Þau eru enn mikilvæg t.d. í rannsóknum á hálfleiðurum. Mynd úr Bennett og Bennett (1978).

28.4 Umræðan um ljósvakann og Maxwells-kenninguna, fram yfir 1890

J.C. Maxwell lést 1879, en menn tóku í vaxandi mæli mið af rafsegulkenningu hans í umfjöllun um ljósfræði, s.s. Kirchhoff (1876), Lorentz (1877, 1878), J.J. Thomson (1880), FitzGerald (1881), Rayleigh (1881a), Glazebrook (1882, 1885, 1888), Gibbs (1882, 1888, 1889) og Ketteler (1893). FitzGerald sýnir fram á, að úr rafsegulfræðunum megi leiða sömu niðurstöður og úr fyrri kenningum varðandi endurkast og brotnun ljóss á skilflötum efna, bæði einsátta og misátta; það hafði Maxwell sjálfur ekki gert. Sömuleiðis taldi FitzGerald rafsegulkenninguna vel geta skýrt Kerr-segulhrifin. Greininni lýkur með orðunum „...the foundation has certainly been laid of a very great addition to our knowledge, and if it induced us to emancipate our minds from the thralldom of a material ether it might possibly lead to most important results in the theoretic explanation of nature“. Ekki voru þó allir tilbúnir að kasta ljósvakanum frá sér, til dæmis W. Thomson (1888, 1890; hann varð Kelvin lávarður 1892) sem endurbætti gamla kenningu J. MacCullaghs um tiltekna snúnings-eiginleika ljósvakans og eyddi þar með vandamáli sem plagað hafði ljósfræði Fresnels. J. Larmor (1894) taldi einnig kenningar Maxwells meingallaðar.

Tilraunir H. Hertz (1888) til sendinga á rafsegulbylgjum sannfærðu marga um að kenning Maxwells um ljósið væri rétt. Bylgjur Hertz höfðu miklu lengri bylgjulengd en ljós (af stærðargráðunni metrar), en hann gat sýnt fram á að þær höfðu svipaða eiginleika hvað varðaði endurkast, brotnun í einangrandi efnum, og skautun. Jókst síðan fylgi við Maxwells-kenninguna af ýmsum athugunum á næstu árum, og kom skautun þar enn mjög við sögu. Vöktu einkum tilraunir Wieners (1890) með einlitt ljós mikla athygli: hann lét það endurkastast (bæði hornrétt og undir 45° horni) frá málmfleti sem þunnt lag af ljósnæmu hlaupi lá ofan við (*Mynd 28-1B*). Segja síðari heimildir að þar hafi niðurstöður með ljósi sem var gert línulega skautað með silfurbergsprisma, verið sérstaklega mikilvægar. Wiener gat sýnt þarna fram á meðal annars, að rafsvið ljósbylgju sveiflaðist í þá átt sem Fresnel taldi vera sveiflustefnu ljósvakans í fræðum sínum um sjö áratugum fyrr. Ljósið myndaði standandi bylgjur í hlaupinu, og komu fram dökkar ræmur í því þar sem útslag rafsviðsins var stærst: það er því rafsviðið sem er ábyrgt fyrir efnaverkunum ljóss, en segulsviðið skiptir minna máli. Wiener gat jafnframt sýnt að rafsviðspátturinn samsíða málminum var 0 upp við hann eins og álykta mátti af kenningu Maxwells og rannsóknnum Hertz á endurkasti rafsegulbylgja. Winkelmann (1906) segir ræmur Wieners vera alveg nýja tegund ljósvíxlafyrirbrigða: allar áður þekktar gerðir ljósbylgjuvíxlmyndra hafi orsakast af ljósgeislum sem voru á leið í nokkurnvegin sömu átt, en hér af geislum á leið í gagnstæðar áttir. Drude og Nernst (1891) endurtóku tilraunir Wieners með þynnum úr flúrljómandi efni í stað ljósmynda-hlaupsins, og fengu sömu niðurstöður. Þetta hvatti til ýmissa frekari rannsókna á rafsviði í bylgjum: sjá t.d. tilraunir Righis (1893) á skautun rafsegulbylgja. Tilraunirnar lögðu að auki ásamt öðru grunn að fyrstu raunhæfu aðferðinni við lit-ljósmyndun; fyrir þróun þeirrar aðferðar hlaut G. Lippmann Nóbelsverðlaun í eðlisfræði 1908.

Gott yfirlit um stöðu kennilegrar ljósfræði birtist í bók H. Poincarés (1889, 1892); stór hluti þeirrar bókar fjallar um skautað ljós, og Poincaré setti fram nýja aðferð til að lýsa skautunarástandi þess. Um 1890 rituðu m.a. Hertz, Lorentz og O. Heaviside fjölmargar greinar til að kynna kenningu Maxwells og gera hana skiljanlegri en fyrr. Umræðan um hegðun ljóss í kristöllum og öðrum efnum hélt áfram, sjá t.d. Rayleigh (1888, um endurkast frá tvíburaflötum), Fletcher (1891), Voigt (1891), Basset (1892) og Ketteler (1895). Eftir því sem kenningin náði frekari fótfestu var farið að beita henni á fleiri tilfelli, svo sem útbreiðslu bylgju

við ýmis randskilyrði, ljósbeygju við leiðandi kant með einfaldri lögun, ljósvístur og gleypingu (Helmholtz 1892) o.s.frv.

Hér má að lokum rifja upp, að í kenningum sínum um útbreiðslu ljósvakabylgju í tvíása kristöllum skilgreindi A. Fresnel (1822c) tiltekinn yfirborðsflöt sem hann nefndi „surface de l'onde“. Þessi flötur reyndist hafa ýmsa áhugaverða rúmfræðieiginleika, sem tugir eðlis- og stærðfræðinga spreyttu sig á að kanna á 19. öldinni. Hafa sumir verið nefndir hér, en meðal hinna voru þekkt nöfn á borð við A. Cayley, W.R. Hamilton, og S. Kowalewski. Yfirlit um þessar fræðilegu rannsóknir er í grein Wölffings (1902).

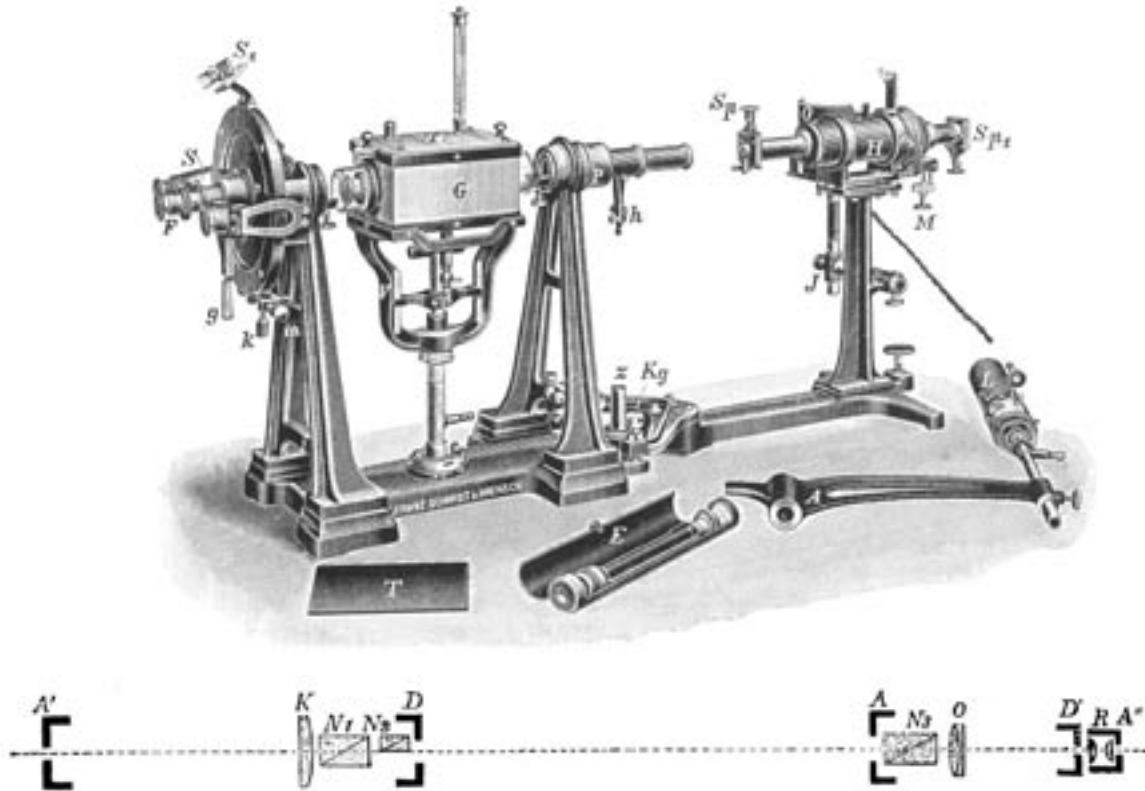
29 Helstu ljóstæki með skautuðu ljósi, um 1890-1930

Þegar hér er komið sögu, eru rannsóknir á þeim mörgu sviðum raunvísinda þar sem tæki með Nicol-prismu voru nýtt, orðnar afar fjölbreyttar. Erfitt er að ná nokkurri yfirsýn yfir þær nema með því að skoða mikið af vísindabókum og -tímaritum frá áratugunum 1890 og fram yfir 1950, og er minnst af slíku finnanlegt hérlendis. Eitt svið þar sem skautunarbúnaður kom eflaust að gagni, er ákvörðun á ástandsjöfnum fyrir steindir og önnur efni sem kristallast á mismunandi hátt eftir því við hvaða þrýsting kristöllunin fer fram. Sjá dæmi um tiltekin bróm-sambönd í Wahl (1913) sem vitnar til fyrri rannsókna á því sviði. Verða hér svo nefnd nokkur atriði í þróun aðferða, sem endurspeglar fyrrnefnda fjölbreytni í mælitækjum, og í næsta kafla eru tínd til fáein mikilvæg rannsóknasvið. Eitt málefni sem eflaust má skrifa heila bók um en er aðeins tæpt á hér strax á eftir, er þáttur skautunarsmásjáa og skyldra tækja í allri framvindu jarðvísinda og nýtingar auðlinda í jarðskorpunni á tímabilinu sem þessi kaflar um.

29.1 Bergfræðismásjár

Margar lærðar bækur um steinda- og kristallafræði komu út á ofanefndu tímabili. Má þar benda á ný rit eftir Groth (1905), Wallerant (1909), og Friedel (1926), auk þess sem vinsælar kennslu- og uppflöttibækur um steindir eftir t.d. H. Rosenbusch, G. Tschermak, C.F. Naumann, F. Rutley og E.S. Dana voru endurskoðaðar, jafnvel margoft. Í þeim speglast hröð þróun bergfræðismásjáa, tilheyrandi mæliaðferða, og þekkingaröflunar, sjá *Mynd 29-2*, *Mynd 29-3* og *Mynd 29-4*. Weinschenk (1901 og síðar), Wright (1911b), Johannsen (1914), Larsen (1921) og aðrir rituðu handbækur um notkun smásjánna, og segir Weinschenk í inngangi: „...nur der mikroskopische Untersuchung dankt diese Wissenschaft (þar á hann við die Gesteinskunde) die ungeheuren Fortschritte, welche sie im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts zu verzeichnen hatte“.

Afeinstökum framfarasporum má telja meðal annars, að Dick (1889) fann upp smásjá þar sem skautari og greinir snúast saman, sem var hagstæðara en að snúa pallinum með þunnsneiðinni. Aðrir komu brátt með betri útfærslur á því atriði, einkum Sommerfeldt (1904). Fedorow (1891) lét pallinn snúast í allar áttir (universal stage), og var sú uppfinning síðar endurbætt af F.E. Wright o.fl. (sjá t.d. Leiss 1912; *Mynd 29-3*). Sem dæmi um notkun þess búnaðar má nefna, að mælingar á stefnu ljósássins í mörgum kvarskornum í þunnsneið bergs veittu vitneskju um það



Mynd 29-1A. Lippich (1885) fann nýja leið til að fá fram hálfskugga-sjónsvið í polarimetrum, með því að setja lítið Nicol-prisma bak við skautunarprismað. Það er N_2 á skýringarmyndinni; ljósið kemur frá vinstri. Ýmsar útfærslur á þessari aðferð, með síðari endurbótum frá H. Landolt o.fl., urðu vinsælar í rannsóknastofu-mælum. Í mælinum fyrir ofan kemur ljósið frá hægri. G er það til að halda föstu hitastigi á sýnarörinu. Eitt slíkt rör liggur hér við E fyrir framan tækið, ásamt lampanum L. Úr Wien-Harms (1928).

hvernig bergið hafi aflagast við tektoniskar hreyfingar. Um annað hagnýtt dæmi má vitna í C.W. Correns í aldarafmælisriti tækjaframleiðandans R. Winkel, útg. 1957: „Auch die Untersuchung durchsichtiger gröberer Minerale, besonders der für die Erdölindustrie wichtigen Leitminerale, wurde z. B. durch die Entwicklung der Universal-drehtische sehr gefördert“.

Fuess (1891), Leiss (1897b, 1898a,b, 1899b, 1908 o.fl.), Hirschwald (1904) og Wright (1910, 1911a) kynntu margskonar nýjungar frá firma þess fyrstnefnda, og Czapski (1891a,b) nýjar smásjár og önnur tæki frá Zeiss. Í sparnaðarskyni var eitthvað reynt að láta ljósið fara í gegnum (eða speglast frá) glerplötustafli í stað Nicol-prisma, en Leiss (1897c) og síðar Cheshire (1923) segja það fyrirkomulag ónothæft bæði sem skautara og greini í almennilegum smásjám. Thompson (1905) birti ítarlegt yfirlit um nýjar og breyttar tegundir Nicol-prisma, og enn ein ný gerð þeirra fyrir smásjár var svonefnt Frank-Ritter prisma með einkaleyfi frá 1910 (sjá Wülfing 1918). Um frekari þróun þeirra má m.a. lesa í Bennett og Bennett (1978).

Ýmsir endurbættu hálfskuggatækni þá fyrir mælingu ellipsuskautunar, sem Bravais (1855) hafði fundið upp, og má þar nefna Nakamura (1905) og Lummer og Kynast (1907). Berek (1913b, *Mynd 29-7*) lýsti nýrri gerð fasajafnara fyrir bergfræðismásjár, þar sem einni plötu úr silfurbergi (um 0,1 mm) eða öðrum kristalli má snúa smátt og smátt til að breyta fasamun tveggja geisla. Varð sú gerð vinsæl (t.d. Ehringhaus 1940; Schumann og Piller 1950; Partington 1953; yfirlitsgrein í *Handbuch der Physik*, Band 25/I, 1961) og er enn í notkun. Berek (1915-20), Ehringhaus (m.a. 1920) og fleiri lýstu öðrum endurbótum á skautunarsmásjám. Margir



Mynd 29-1B. T.v.: Sakkarimeter, nokkuð venjulegur í útliti en með tvöföldum kvarsfleyg (Peters 1894) til að auka mælinákvæmnina. Úr Rolfe (1905). T.h.: Endi af sakkarimeter-afbrigði frá 1887, einkum ætluðu til að meta á fljótlegan hátt sykursmagn í sykkurrófum. Mynd úr Browne (1912), sumir mælur fyrir sykur í þvagi voru svipaðir þessu.

smíðuðu upphitunarbúnað fyrir slíkar smásjár til að fylgjast með breytingum á steindum, mæla bræðslumörk o.fl., jafnvel við hitastig yfir 1500°C (t.d. Sommerfeldt 1904, Endell 1921).

Þróun sérhæfðra tækja til mælinga á brotstuðlum og ásahornum kristalla hélt áfram, sjá m.a. Friedel (1893), Wülfing (1898), Stöber (1898), Leiss (1899a,b), og Klein (1900, 1902), *Mynd 29-5*. Þá má nefna kennslu- og sýningartæki með Nicol-prismum fyrir bergfræði, t.d. frá Pellin (1897), Leiss (1897-98) og síðar G. Halle (1910) og Berek (1913a), sem og búnað til smásjárskoðunar í einlitu ljósi, *Mynd 29-6*. Framleiddar voru litrófs-sjár (spektrometrar) með Nicol-prismum til rannsókna á skautuðu ljósi (Leiss 1905, Fuess um 1910), sjá *Mynd 28-2*.

Þess ber að gæta, að menn hafa áhuga á mun fleiri kristölluðum steinefnum en þeim sem finnast í náttúrunni og eru kölluð steindir. Þar má til dæmis nefna steinlím (sement) sem þekkt var á dögum Rómverja, en sú þekking týndist síðan að mestu fram á miðja 18. öld. Seint á 19. öldinni könnuðu eiginleika þess m.a. H. Le Chatelier í doktorsriti og A.E. Törnebohm, en ekki hef ég fundið hvort þeir notuðu þá smásjár með Nicol-prismum. Á árinu 1906 hófust síðan ítarlegar athuganir á kristöllum ferlum og efnajafnvægi blandna af kalk-, ál- og kísiloxíðum, sem leiddu ekki síst til bætts skilnings á eiginleikum Portland sements (Shepherd og Rankin 1909, Rankin og Wright 1915). Margt af þeirri vitneskju sem þarna var aflað með skoðun efnanna í skautunarsmásjám, hefði ekki getað fengist með öðrum aðferðum sem þá voru kunnar (Wright 1916). Peck (1919), Endell (1921), Fisk (1934), Bayley (1937) og Hartshorne og Stuart (1950, bls. 434-439) lýsa því, að á millistríðsárunum hafi svipaðar og mjög mikilvægar rannsóknir verið gerðar á samsetningu og varmaefnafræði málmoxíða og karbonata m.a. í keramik-efnum og í gjalli (e. slag) úr iðnaðarferlum; um 1930 kom að auki til sögunnar greining á efnum af þessu tagi með röntgengeislum. Á sama hátt jókst þekking á tígulsteinum, leirtegundum, og þolnum efnasamböndum (refractories) á borð við zirkon-oxíð, m.a. til nota í málmbræðsluofnum og háspennu-einangrun. Milligan (1927) staðhæfir um slípiefni, sem eru mjög mikilvæg á breiðum vettvangi allt frá bílaframleiðslu til tannlækninga: „The petrographic microscope and microscopic methods in general have proved invaluable tools for the study of abrasives and grinding wheels“. Meðal slíkra slípiefna voru áloxíð (smergill o.fl.) sem upphaflega voru unnin úr námum en síðar manngerð, og hið mun harðara karborundum (kísilkol, SiC) sem var byrjað að framleiða upp úr 1890.



Mynd 29-2. Smásjár, um 1900. Að ofan t.v.: Smásjá Sommerfeldts (1904), ein þeirra fyrstu þar sem bæði skautara- og greiniprismum var snúið samtímis með stöng. T.h.: Smásjá hönnuð af V. de Souza-Brandao 1903 og framleidd frá 1910 af R. Fuess. Mynd úr Johannsen (1914). Að neðan t.v.: Smásjá framleidd af Sociéte Genevoise. Mynd úr Duparc og Pearce (1907). T.h.: Smásjá framleidd af C. Zeiss, mynd úr Czapski (1891a).

Það sem sagt var hér um sementið og slípiefnin, gildir líklega einnig um geislasteina (zeolites): smásjárrannsóknir á byggingu þeirra hafa átt þátt í tilurð margra nýrra efna í þeim flokki sem ekki finnast í náttúrunni en eru mjög gagnleg í ýmsum iðnaði.

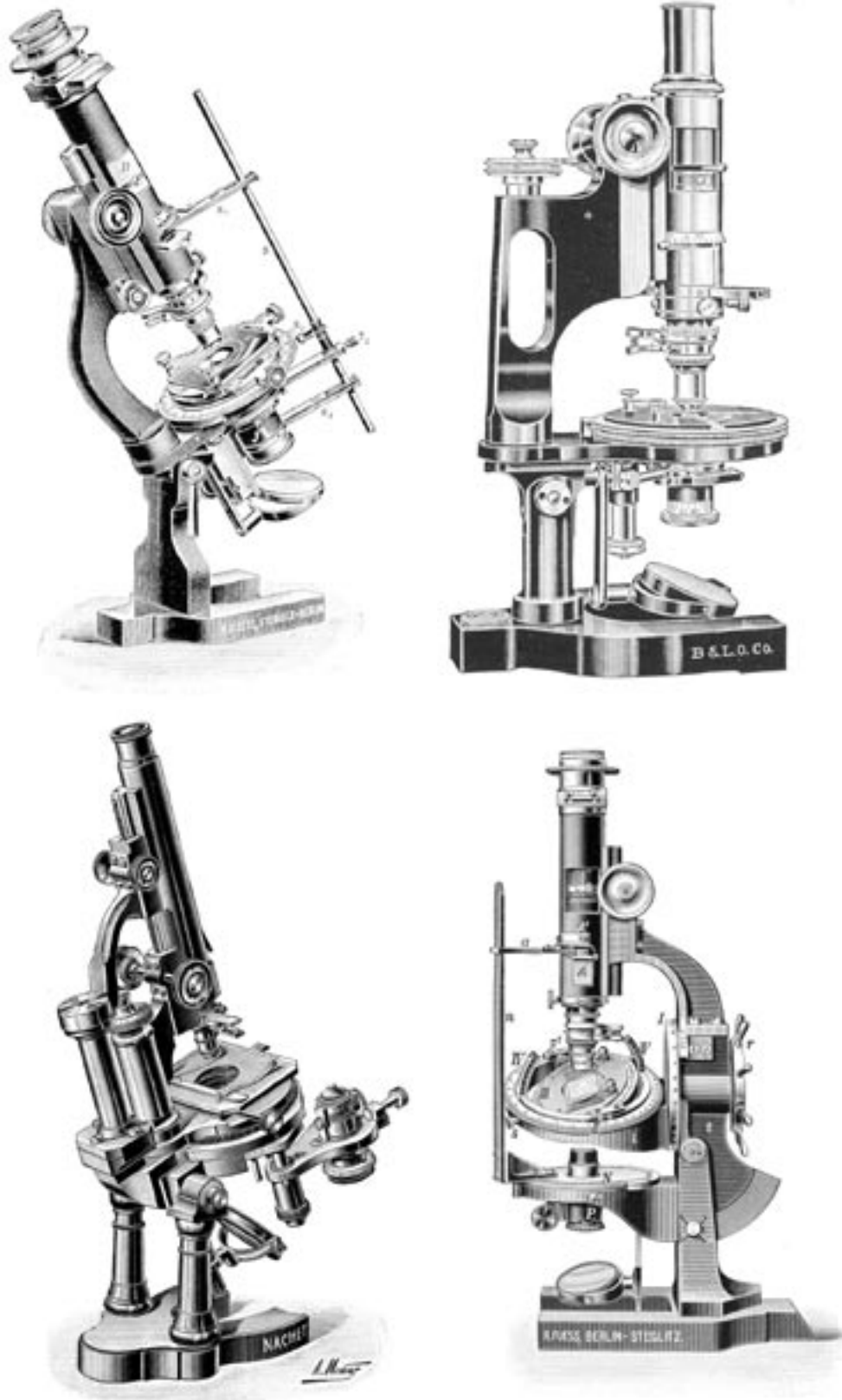
Skautunarsmásjár komu beint og óbeint við sögu framfara víðar í efnisfræðum fram eftir 20. öldinni. Áður (kafla 27.2) voru nefndir fljótandi kristallar, sjá meðal annars stóra yfirlitsgrein Friedels (1922) um þá. Tiltaka má hér tvö dæmi til viðbótar um sérhæfða efniseiginleika, sem byrjað var að kanna fyrir 1940 og urðu undirstaða afar mikilvægra nýjunga í rafeinda- og fjarskiptatækni eftir miðja öldina. Annað dæmið varðar svonefnd ferrit-segulefni sem voru uppgötvuð við rannsóknir á kristallaflokkum kenndum við steindina spinel ($MgAl_2O_4$) og við málm-kísiloxíð með samheitið granat (garnet). Hitt dæmið er það, að smásjárnar áttu þátt í þróun á nýjum kristöllum með mikil þrýstirafhrif og rafeiginleika hliðstæða við hegðun járnseglunar. Þau efni (ferroelectrics, s.s. $BaTiO_3$) eru m.a. notuð í þétta í rafrásam og í tölvuminni.

29.2 Polarimetrar 1900-30 og síðar

Margar bækur og greinar voru ritaðar um notkun polarimetra á þessu tímabili (t.d. Rolfe 1905, Bates 1908, Zehnder 1908a, Schulz og Gleichen 1919, Skinner 1923, Bruhat 1930). Í umsögn um bók Rolfes í tímariti bandaríska efnafræðifélagsins segir: „At the present day no laboratory for ordinary research, commercial business, or teaching is considered complete without a good polariscope“. Í flóknari gerðum polarimetra (svokölluðum ellipsu-polarimetrum, *Mynd 28-2*) voru auka-fleygar eða auka-þynnur úr kvarsi og mariugleri (m.a. Brace 1904a, Wright 1908, Tool 1910, Szivessy 1921, Skinner 1925). Verkstæði W. Wilsons framleiddi upp úr aldamótunum einfalda gerð polarimetra til nota við kennslu (sjá mynd í Houstoun 1927, bls. 218; Leó Kristjánsson 1996).

Í kafla 22.2 var minnst á tækni frá um 1885 þar sem hálfskuggi var framkallaður með litlu auka-Nicolprisma (*Mynd 29-1A*). Firma Schmidt & Haensch varð einn stærsti framleiðandi polarimetra og sakkrimetra af þeirri gerð undir lok aldarinnar og breytti þeim á ýmsan veg. M.a. bauð það frá um 1894 nákvæmnismæla með öðru litlu aukaprisma þannig að sjónsviðs-hringflöturinn skiptist í þrennt (Lippich 1896), og jafnvel mæla með þriðja aukaprismanu og fjórskiptu sjónsviði (Lummer 1896). Firmað hóf einnig framleiðslu á sakkrimetrum með tvöföldum kvarsfleyg sem þóttu þægilegri í notkun en fyrri mælar (Landolt 1898). Svipuð tæki sem voru kennd við J. Peters (1894) og smíðuð af fyrirtæki hans, voru kynnt m.a. á heimssýningunni í St. Louis 1904 og seld talsvert vestanhafs um það leyti (Rolfe 1905, Browne 1912, *Mynd 29-1B*). Í formála bókar sinnar um optiska virkni lífrænna efna segir því Landolt (1898) að polarimetrar „nunmehr zu den genauesten physikalischen Messinstrumenten gehören“. Ýmislegt takmarkaði þó gæði mælinganna og möguleika á mælingum virkninnar við mismunandi bylgjulengdir, svo sem þeir ljósgjafar (einkum natrium-ljós) sem notaðir voru fram yfir aldamótin; hentugri kvikasilfurslampar komu til sögunnar síðar (Armstrong o.fl. 1908).

Stöðugt gæðaeftirlit og kynbætur á sykkurófum voru snar þáttur í sykurfraeðslu, auk þess sem huga þurfti að vaxtarskilyrðum, uppskeru- og vinnsluáferðum til að hámarka árangur í samkeppninni við innfluttan reyrsykur. Tókst smám saman að auka sykurmagnið í rófunum úr 6 í 18%, og árið 1913 var heimsframleiðslan af rófu- og reyrsykri orðin svipuð að magni (skv. L.E. Arnow og H.C. Reitz, Introduction to Organic and Biological Chemistry, 1943). Voru þróaðar polarimeter-mæliaðferðir í þessu skyni (t.d. Hiltner og Thatcher 1901) og jafnvel sérstök afbrigði sakkrimetra til að kanna á fljótlegan hátt sykurmagnið í rófunum. Dæmi um þau er tæki K. Stammers frá 1887, lýst af Browne (1912, bls. 143-145), sjá *Mynd 29-1B*.



Mynd 29-3. Smásjár um og upp úr 1900. Að ofan t.v.: Smásjá hönnuð af F.E. Wright (1911a) og framleidd af R. Fuess. T.h.: Smásjá frá Bausch & Lomb, mynd úr Johannsen (1914). Að neðan t.v.: Smásjá “grand modèle” sem A. Nacet framleiddi frá um 1898. Mynd úr verðlista. T.h.: Smásjá með veltiborði fundnu upp af Fedorow (1891), framleidd af R. Fuess (Leiss 1912). Mynd úr Weinschenk (1925).

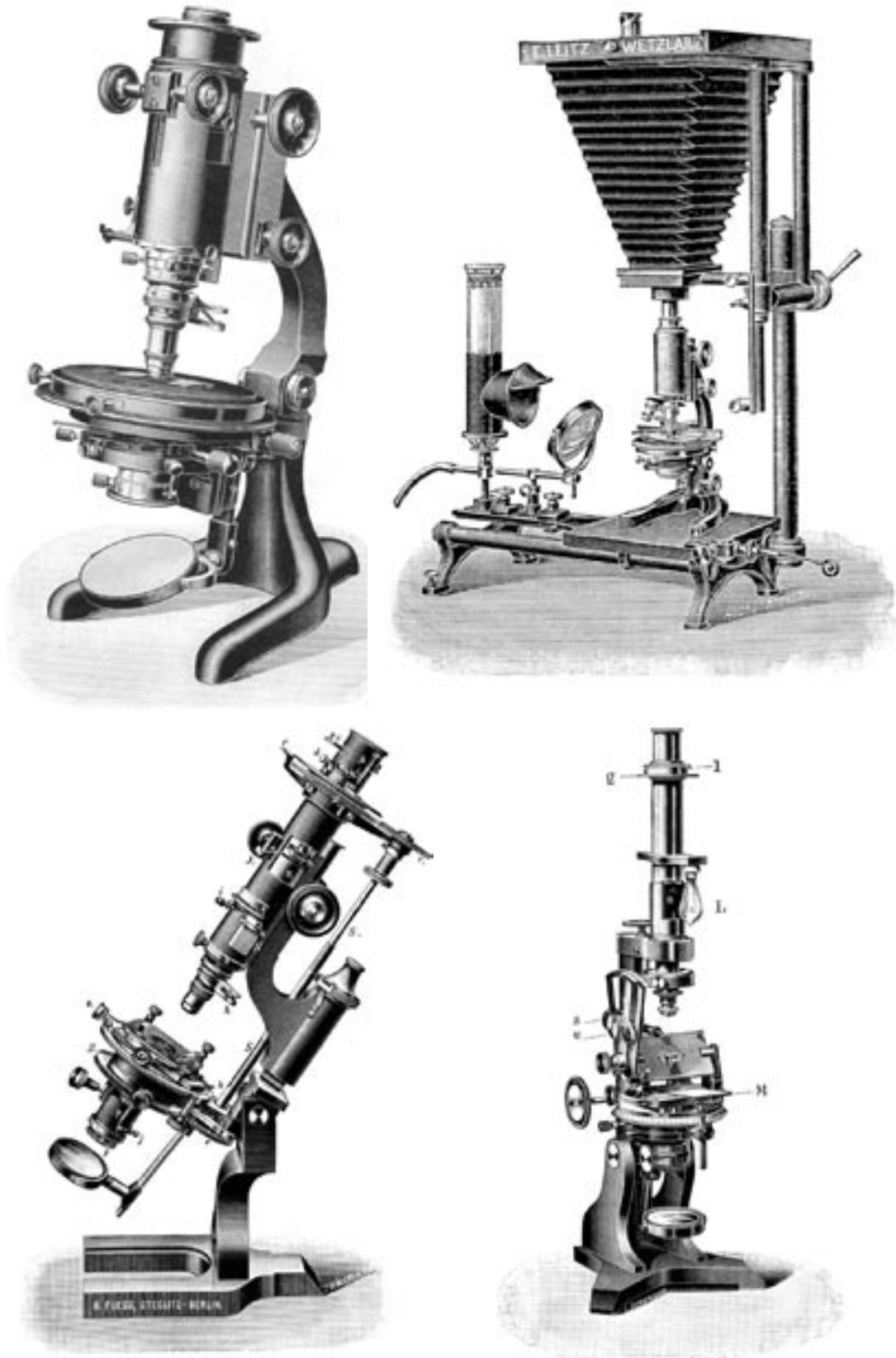
Varðandi mikilvægi polarimetra má vitna hér í talsmann sykuriðnaðar í Englandi við kynningu á nýjum innlendum mælum, samkvæmt frétt í *The Times* 8. feb. 1916: „...that the present highly-developed state of the sugar industry was to be ascribed more to the control exercised in that industry by the polarimeter than to any other cause.“.

Eins og fram hefur komið, voru sakkárimetrar oftast kvarðaðir fyrir beinan aflestur af sykurmagni í vatnslausn með hjálp kvarsfleyga og kvarsþynna. Alþjóðlegar nefndir unnu að samræmingu á kvörðun sakkárimetra og annarri stöðlun sykurmælinga á árunum 1894-1912 (Schulz og Gleichen 1919; Bruhat 1930, bls. 279-281; Bates o.fl. 1942, bls. 767-779). Voru gerðar vaxandi kröfur til nákvæmni mælinganna (sjá t.d. Pellat 1901), enda miklir fjármunir í húfi í framleiðslu sykurs og verslun með hann. Um prófanir á kvars-íhlutunum sáu opinberar tæknistofnanir, og gáfu vottorð (Brodhun 1913), en löngum var vandamál að finna kvarskristalla sem voru nógu einsleitir til að vinna polarimeter-þynnur eða -fleyga úr (Stanley 1919). Bruhat (1930, bls. 111) segir einn af hverjum fimmtíu kristöllum sem þó litu út fyrir að duga, hafa staðist prófun til nota í nákvæmar gerðir þeirra mæla.

Þegar Bandaríkjamenn drógust inn í fyrri heimsstyrjöldina 1916, voru nær allir polarimetrar í matvæla- og sykkurrannsóknastofum þar upprunnir í Þýskalandi og Austurríki (Browne 1918). Lokaðist þá fyrir endurnýjun og varahluti, og vegna stríðsástandsins gátu verkstæði í Frakklandi ekki sinnt framleiðslu á polarimetrum, „...the increasing shortage of which is becoming at present a serious detriment in many industries“; Browne hvetur til þess að sem fyrst verði farið að framleiða slík tæki vestra. Skinner (1923) segir að bandaríska staðlastofnunin hafi næstu árin tekið að sér viðhald polarimetra fyrir sykuriðnaðinn, og væri „difficult to estimate what would have been the consequences of the resultant paralysis to the industry“, hefði þeirrar þjónustu ekki notið við.

Með því að fletta efnisyfirlitum almennra efnafræðitimarita eins og *J. Chem. Soc. London* á fyrsta fjórðungi 20. aldar, má áætla að allt að tíundi hluti greina í þeim fjalli um einhverslags athuganir á optískt virkum efnum. Um hin gríðarlegu áhrif rannsókna á þrívíddarbyggingu lífrænna og síðar ólífrænna efna þar sem polarimetrar komu mjög við sögu, má lesa í bók Stewarts (1919), og í yfirlitsgreinum Waldens (1925a,b). Undir lokin í þeirri fyrri spyr Walden: „Blicken wir hinein in das bewundernswerte, überaus rege Getriebe chemischer Tagesforschung, in die grossen Probleme, die im Brennpunkte des gegenwärtigen Interesses der organischen und Biochemie stehen, sind es nicht gerade die optisch-aktiven Naturprodukte: Terpene und Campher, Alkaloide, Eiweissstoffe (Polypeptide), Zucker, Stärke, Polyamylosen, Cellulose, Chlorophyll, Gerbstoffe (Depside, Catechine) usw. ?“. Efni þessi komu mörg hver úr ýmsum hlutum jurta og trjáa, en einnig t.d. úr þörungum, sveppum, skordýrum, eða líffærum æðri dýra.

Varðandi sykurefnin sem Walden nefnir hér að ofan, má ekki síst vísa á margar greinar eftir W.N. Haworth og samstarfsmenn þar sem polarimetrar komu að verulegum notum við að finna byggingu tvísykrunga og annarra kolvetna (Haworth og Law 1916, Haworth o.fl. 1923 um raffinosa, Haworth og Hirst 1930, o.s.frv.). Eitt efni sem þeir rannsökuðu þannig, var askorbínsýra (C-vítamín, $C_6H_8O_6$); optísk virkni var meðal þeirra eiginleika sem stuðst var við þegar unnið var að því að einangra sýruna úr dýra- og plöntuvefjum (Waugh og King 1932, Svírbely og Szent-Györgyi 1933), ákvarða byggingu hennar, og smíða hana í fyrsta sinn úr einfaldari efnum (Ault o.fl. 1933). Sjá Viðauka 5. Eins og hjá E. Fischer áður, gerðu polarimetrar jafnframt víða gagn við könnun áður óþekktra sykurtégunda og skyldra efna úr lífríkinu (t.d. Forge og Hudson 1917), og við tilraunir um 1912 til að framleiða glúkósa úr sellulósa (kafli 27.4). Sjálfsagt voru þeir notaðir einnig við þær rannsóknir á efnaskiptaferlum sykurefna og hlutverki þeirra í orkubúskap lífvera, sem fóru vaxandi upp úr 1930.



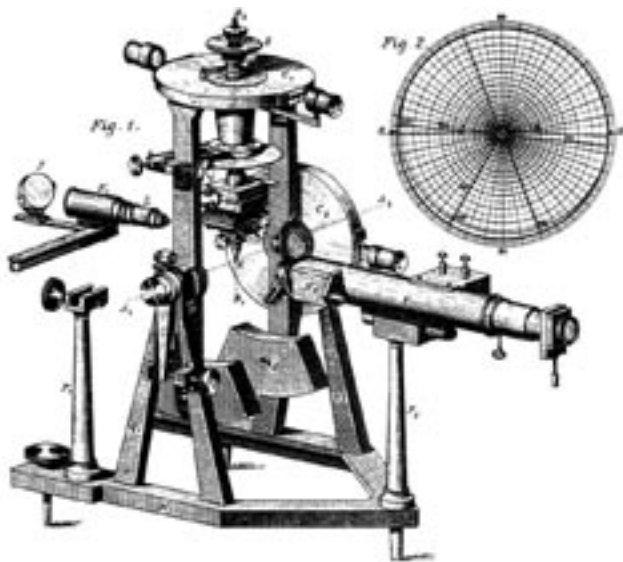
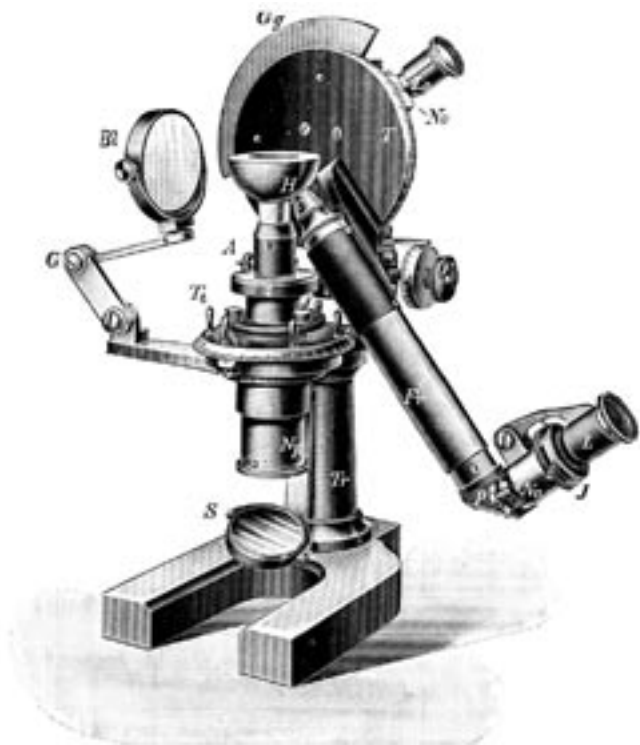
Mynd 29-4. Smásjár upp úr 1900. Að ofan t.v.: Smásjá frá E. Leitz, ætluð m.a. til myndatöku af þunnsneiðum. Myndin er úr Duparc og Pearce (1907). T.h.: Sama smásjain með belgmyndavél (Lincio 1907). Að neðan t.v.: Smásjá frá R. Fuess, mynd úr Lummer (1909). T.h.: Smásjá frá Société Genevoise, með áfestu tæki sem F. Wallerant hannaði um 1897 til mælinga á brotstuðlum kristalkorna. Mynd úr Duparc og Pearce (1907).

Af alkaloidum sem Walden nefnir einnig í yfirlitsgrein sinni, má benda á nikotín. Það var fyrst smíðað af Pictet og Rotschy (1904) í bæði vinstri- og hægri-snúandi gerð, og reyndust þær hafa mismunandi eituráhrif. Annað alkaloid-efni er kínín, sem eins og kunnugt er var unnið úr berki tiltekinna trjáa og notað sem malaríulyf. Þegar Rabe og Kindler (1918) tókst að smíða kínín úr skyldu eiturefni, studdust þeir við polarimeter-mælingar. Manggert kínín varð þó ekki samkeppnisfært við náttúruafurðirnar fyrir en áratugum síðar.

Annað dæmi um náttúruafurðirnar sem Walden nefnir, er efnasamband sem C. Tanret (1908) og aðrir rannsökuðu vandlega. Það hafði hann uppgötvað fyrstur manna 1889 í sveppasýkingar-útfellingum á rúgi og tekið eftir að því svipaði til kolesterols úr dýraríkinu; það fannst einnig brátt í fleiri sveppum og í geri. Polarimeter-mælingar og athuganir með skautunarsmásjá gerðu verulegt gagn við hreinsun og greiningu þessa efnis sem Tanret kallaði ergostérine (nú ergosterol). Upp úr 1920 fannst að D-vítamín sem m.a. verndar gegn beinkröm, gat myndast úr sumum fitukenndum efnunum ef á þau hafði verið lýst með útfjólubláu ljósi. Það kom af stað umfangsmiklum rannsóknum, og töldu menn um hríð að kolesterol væri efnasambandið sem þarna umbreyttist. Endanlega varð þó ljóst að útfjólubláa ljósið breytir ergosteroli í eitt afbrigði af D-vítamíni (ergo-calciferol, D₂), og skyldu efni úr dýravefjum í annað afbrigði (cholecalciferol, D₃). Sjá Nóbél-erindi A. Windaus 1928, og bækur um lífefnafræði.

Polarimetrar voru einnig notaðir við rannsóknir í lækisfræði og lífefnafræði mannsins, og við lækningar, og voru m.a. á markaðnum svonefndir litrófs-polarimetrar (*Mynd 28-2*, efri; Twyman 1906). Haldið var áfram a.m.k. til 1930 notkun polarimetra við rannsóknir á sykursýki (Lundsgaard og Holböll 1924, Paul 1925 o.m.fl.; Struers 1925). Bók Lechers (1917) segir að þeir „...finden vielfache Anwendung in der physiologischen und pathologischen Chemie“. Þar á meðal voru mælingar á glykogeni, glykuron-sýru, maltósa, mjólkursykri (sbr. Wiley 1896b, Pellin 1899), alkaloid-efnum (Ratz 1905) og albuminum. Hér má einnig til fróðleiks nefna kenningar og niðurstöður E. Abderhaldens (m.a. 1913) frá 1909 um það að mannslíkaminn brygðist við breytingum á borð við sýkingar, krabbamein og þungun með því að mynda varnar-lífhvata (Abwehrfermente). Það þótti merkileg uppgötvun. Abderhalden var þá þegar orðinn þekktur af öðrum rannsóknum sínum og ritstörfum, og jafnvel tilnefndur til Nóbelsverðlauna oftast en einu sinni. Virkni lífhvatanna í blóði átti að vera hægt að mæla með polarimeter og fleiri aðferðum, og þungunarpróf byggt á henni (Abderhalden og Kiutsi 1912) var eitthvað notað í a.m.k. tvo áratugi. Prófið var erfitt í framkvæmd og túlkun, enda sýndu aðrir fram á það strax á árunum 1914-16 (sjá Nature 393, 109-111, 1998) að kenningarnar væru tóm rugl.

Gamgee og Hill (1903) og Gamgee og Jones (1903, 1904) mældu hemoglobin og nokkur kjarnsýru-prótein með polarimeter, og segja þann þátt hafa verið alveg vanræktan í rannsóknum á þessum mikilvægu efnunum. Þeir gerðu í leiðinni ýmsar uppgötvunir varðandi aðra eiginleika þessara efna. Meðal annars reyndist kjarnsýruefni úr frumum hóstarkirtils sýna mikla optiska virkni, og Jones (1908) notaði mælingar á henni til að staðfesta að sama kjarnsýran fengist úr öðrum líffærum. Hefst grein Jones með þeim orðum að „A study of the nucleic acids is...one of the most puzzling tasks that confront the student of physiological chemistry“, þar sé „a mass of contradictions, corrections and inconsistencies which it would seem almost impossible to reduce to any satisfactory scientific order“. Levene (m.a. 1920) og fleiri könnuðu optiska virkni hinna ýmsu þátta (nucleotides) í kjarnsýrum og afleiða af þeim. Auk athugana E. Fischers sem nefndar voru í kafla 27.4, geta þessar og aðrar rannsóknir með polarimetrum (kafla 22.3) og skautunarsmásjám hafa átt þátt í að greiða úr flækjum varðandi þau meginatriði í byggingu og hlutverki kjarnsýra, sem nú eru vel kunn. Skautað ljós kom víðar við sögu rannsókna á þessum sýrum, svo sem við mælingar á ljósdreifingu (scattering, kafla 27.1) og Maxwell-hrifum (kafla 27.3).



Mynd 29-5. Að ofan t.v.: Tæki til mælinga á brotstuðlum kristalla, frá C. Zeiss (Czapski 1891b). T.h.: Svipað tæki C. Kleins (1902) framleitt af R. Fuess. Mynd úr Duparc og Pearce (1907), Nicol-prismu eru við Np og Na. Að neðan t.v.: Fjölhæft tæki (Universalapparat, Viola 1897) til kristalrannsóknna. T.h.: Tæki E.A. Wülfings (1898) til mælinga á áshornum tvíása kristalla, Nicol-prismu eru við P og A. Framleitt af C. Leiss (1925).

Um hina öru þróun þrívíddar-efnafræðinnar á þriðja áratug aldarinnar er einnig fjallað t.d. í bókum Wittigs (1930) og Lowrys (1935). Sérstaklega má nefna hér mikilvæga útvíkkun Lowrys sjálfs á hugtökunum sýra og basi: samkvæmt kafla um Lowry í æviskrárritinu Dictionary of National Biography (viðbótarbindi fyrir 1931-40) á hún uppruna sinn í rannsóknum hans á optiskri virkni lífrænna efnasambanda. J.N. Brønsted sem setti þessa skilgreiningu fram samtímis en óháð Lowry 1923, vann einnig á því sviði ásamt öðru, en ekki hef ég skoðað hvar hann fékk sínar hugmyndir um hana.

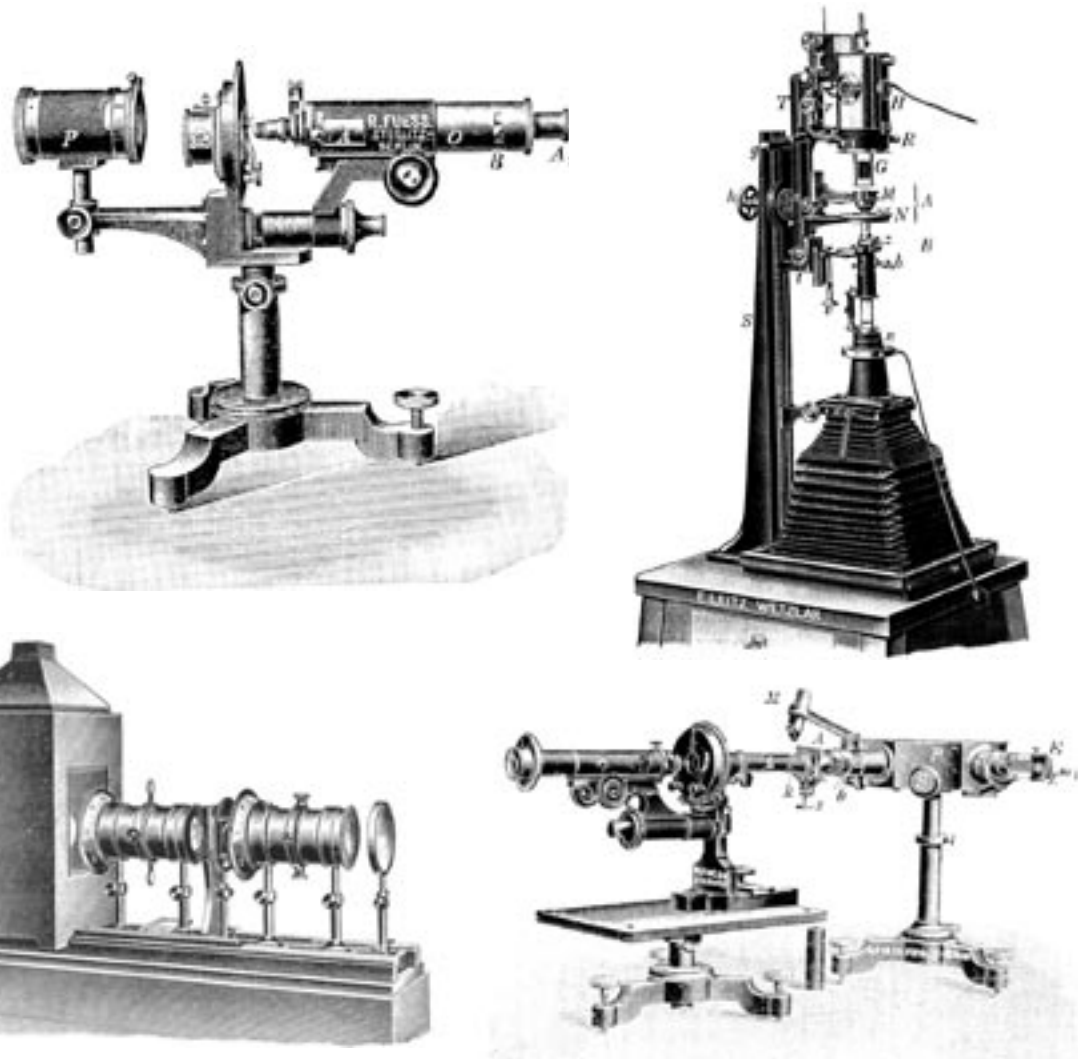
29.3 Endurkasts-smásjár, um 1900-20

Um sögu þessa sviðs innan bergfræði má lesa m.a. í bókarkafli eftir Orcel (1972). Eins og kunnugt er, koma margir nytsamir málmar (s.s. járn, blý, eir og zink) ekki fyrir hreindir í jarðskorpunni, heldur í margskonar samböndum og þá oft sem oxíð eða súlfíð. Korn þeirra steinda (Erzmineralien) eru oft hálfleiðarar og ógegnsæ í þunnsneið. Jarðfræðingar höfðu ýmsar aðferðir til að rannsaka þær, m.a. einfaldar athuganir á lit, eðlismassa, hörku, áhrifum sýra, rafleiðni, og seguleiginleikum. Nákvæmar efnagreiningar voru hinsvegar tímafrekar, og jafnvel gat verið ómögulegt að einangra hreinar málmsteindir úr sýnum ef þær voru mjög fínkornóttar. Hefur sjálfsagt verið brýn þörf á fljótlegum og traustum greininga-aðferðum á þessum steindum við leit að málmríkum svæðum, kortlagningu þeirra, og námurekstur. Fyrstu tilraunir til að greina málmsteindir með því að skoða endurkast ljóss frá slípuðu yfirborði þeirra voru e.t.v. gerðar af H. Baumhauer um 1885. Charpy (1896) sýnir margskonar útfærslur smásjáa í þeim tilgangi, og W. Campbell kom slíkum mælingum mun lengra áleiðis um 1907 (Orcel 1972).

Skautunarástand þess ljóss sem málmsteind endurkastar, er mismunandi eftir því hvaða steind er um að ræða. Oft er það einnig allbreytilegt eftir bæði stefnu ljóssins miðað við ása kristallsins og eftir bylgjulengd þess. Þetta stafar af misátta hegðun (anisotropy) steindanna og er hægt að nýta á tvennan hátt, svipað og gert er í venjulegum bergfræðismásjám. Annarsvegar má horfa á sýnið og beita Nicol-prismum ásamt fylgihlutum til þess að steindirnar skeri sig hver frá annarri með mismunandi birtu og lit: til dæmis koma oft fyrir í gosbergi korn af steindunum magnetíti (Fe_3O_4) og ilmeníti (FeTiO_3) hlið við hlið eða samvaxin, og er mun auðveldara að þekkja þær í sundur á þennan hátt en án skautunarbúnaðar því sú fyrrnefnda er kubísk og hin misátta. Í handbók um ákvörðun málmsteinda í smásjá (Short 1931) er lýst hinum ýmsu aðferðum til að bera kennsl á þær, en einmitt sagt að „The most useful test that can be applied to determine an unknown mineral is the test for anisotropism“. Hinsvegar er hægt að gera mælingar á styrk og skautunarástandi hins endurkastaða ljóss til nákvæmari greininga á steindunum.

Stór áfangi á þessu sviði náðist með smíði J. Königsbergers (1901a, 1908) á skautunarsmásjám (*Mynd 29-7*). Í fyrstu gerðinni féll venjulegt óskautað ljós á sýnið, og eftir endurkast voru Nicol-prisma, hallandi glerplata og Savart-plata úr silfurbergi (kafla 13.5) notuð til að kanna skautun endurkastaða ljóssins. Í næstu gerð (Königsberger 1909; sjá Schlossmacher 1924) var áfallandi ljósið fyrst gert línulega skautað með Nicol-prisma og síða mældur snúningur skautunarplans ljóss við endurkastið með öðru Nicol-prisma og kvarsplötu (*Mynd 29-7*). Königsberger bendir á í greinum sínum, að t.d. megi meta gæði kola út frá misátta ljósendurkasti sýna af þeim, og var sú tækni mikið notuð síðar.

Endurkasts-smásjár fyrir bergfræði málmsteinda þróuðust hratt eftir fyrri heimsstyrjöldina; meðal annars setti F.E. Wright silfurbergskubb í stað kvarsplötu Königsbergers (sjá mynd í Leó Kristjánsson 2000) og síðar nýja tegund af kvarsfleyg (Wright 1919b, *Mynd 29-7*). Einnig kom fram búnaður með Nicol-prismum til að stilla lýsingu á sýnin (*Mynd 29-7*). Rannsóknir á

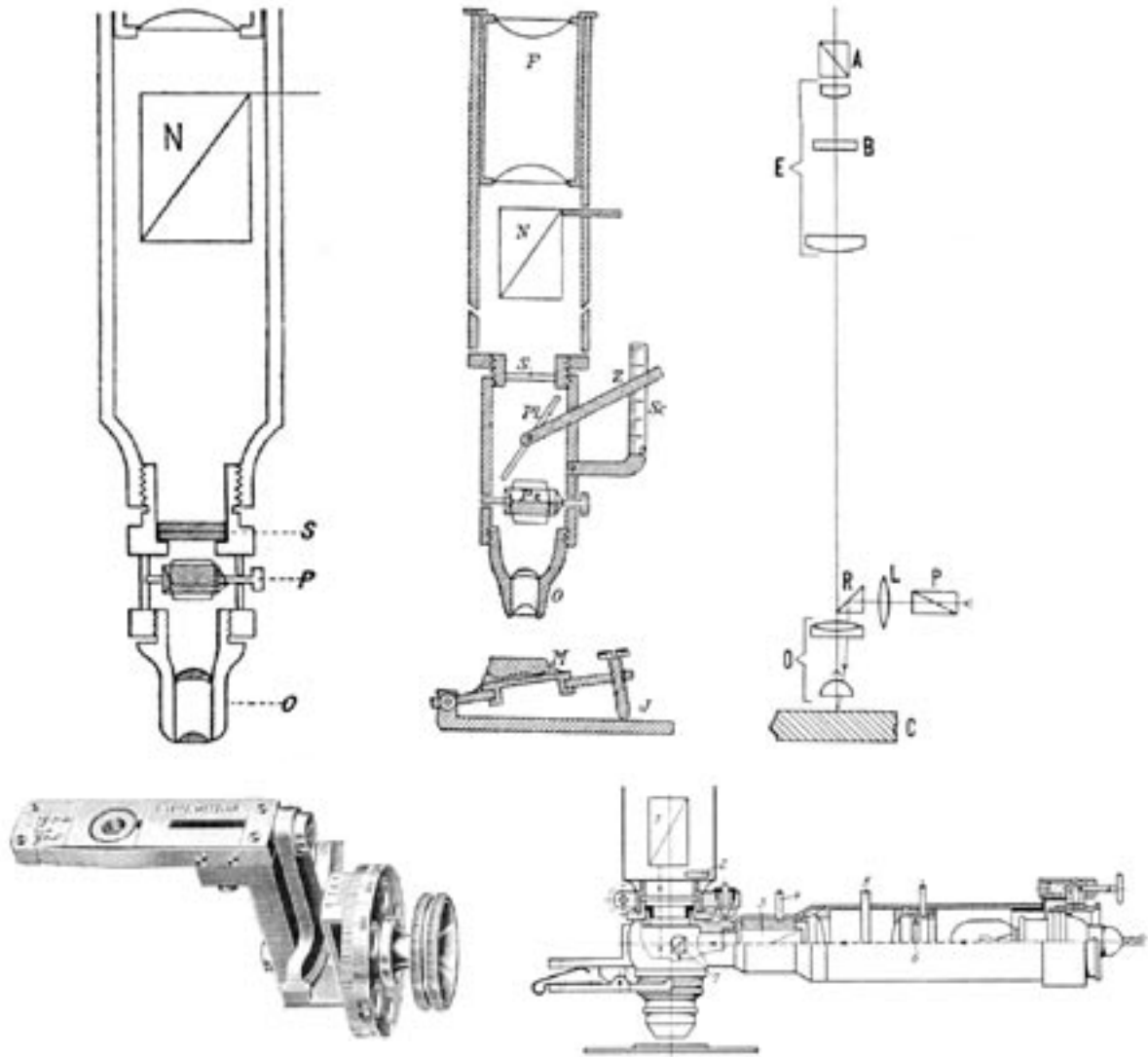


Mynd 29-6. Ýmis búnaður fyrir rannsóknir og kennslu. Að ofan t.v.: Myndvarpi, tengdur lárétt uppsettri smásjá frá R. Fuess (Leiss 1903). T.h.: Stækkari til að sýna, ljósmynda og teikna upp smásjármyndir (Berek 1913a). Að neðan t.v.: Sýningarvél með skautunarprismum, fyrir stórar þunnarneiðar. Myndin er úr bók Tuttons (1922) og tækið er líklega hannað af honum. T.h.: Hægri megin er “monochromator” E.A. Wülfings til þess að skoða sýni í einlitu ljósi í smásjóni. Tækin eru frá R. Fuess, mynd úr Rinne (1922a).

málmum og málmblöndum með þessari tækni hófust um 1894 skv. smágrein í La Nature 26(I), 139-140, 1898. Í greinum sínum 1908-10 bendir Königsberger á nokkur dæmi um gagnsemi skautaðs ljóss við skoðun málmflata í endurkasts-smásjám. Johannsen (1914) nefnir a.m.k. tvo framleiðendur slíkra smásjóa til málmfræðirannsókna, en ekki kemur skýrt fram hvort þær nota skautað ljós. Lítillega er nefnt frekar um þessar smásjár í kafla 39.1.

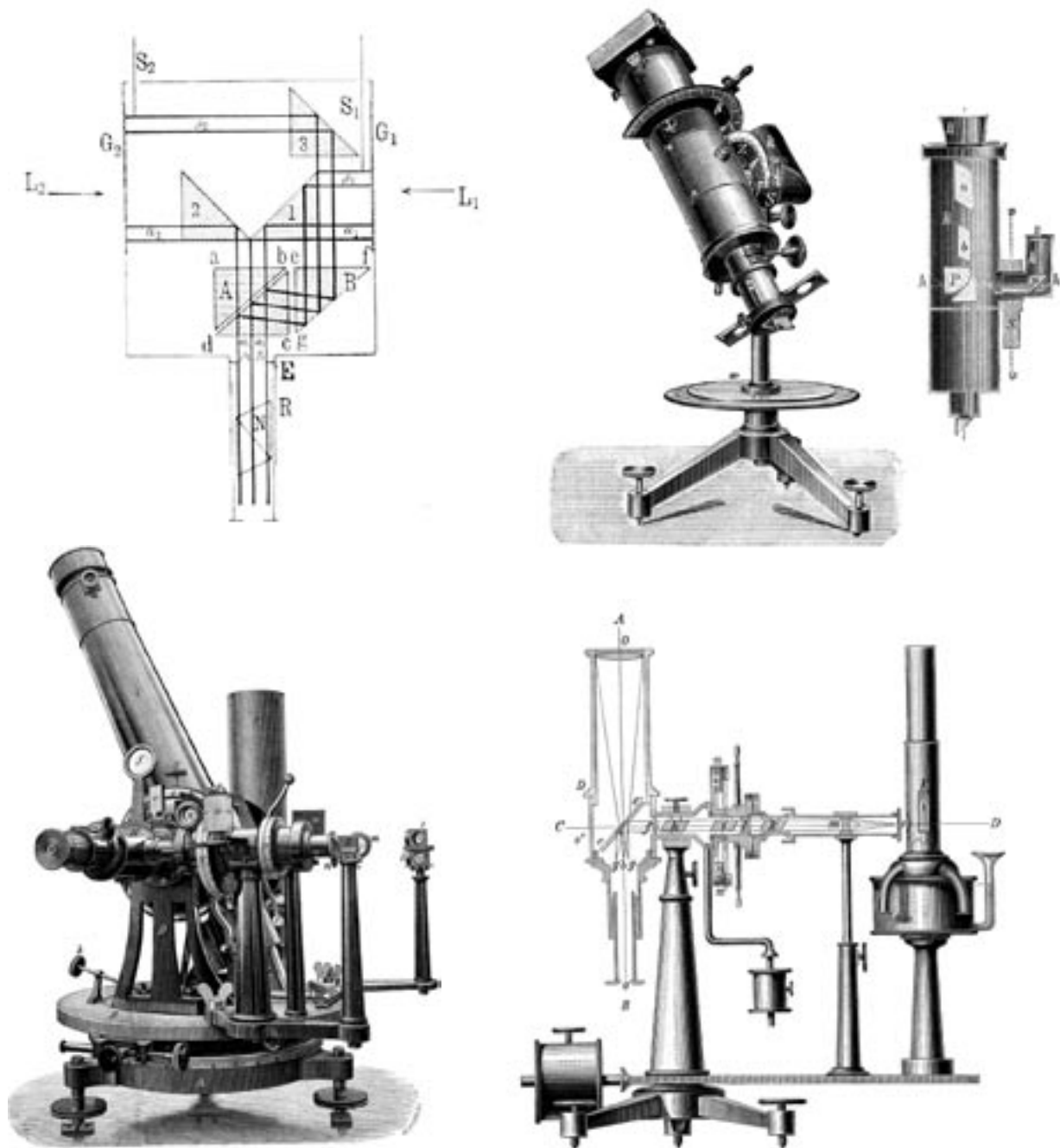
29.4 Ljósælar sem byggðu á eiginleikum silfurbergs, 1870-1930

Ljósælar (photometers) hafa mjög verið notaðir í rannsóknum og iðnaði til að mæla magn ljóss sem efni eða hlutir senda frá sér, endurkasta, gleypa o.s.frv., og sömuleiðis til að kanna það hvernig við skynjum ljós. Eins og nefnt var í kafla 18.4, fór mæling á ljósstyrk oftast fram



Mynd 29-7. Úr þróun endurkasts-smásjáa fyrir málmsteindir og málma. Að ofan t.v. og í miðið: Tæki Königsbergers (1901a, 1908). N er Nicol-prisma, S er Savart-plata úr silfurbergi til fasajöfnunar. 90° -glerprisma P beinir ljósi niður á sýnið M. T.h.: Kvarsfleygar B voru notaðir síðar af Königsberger og öðrum í stað Savart-plötunnar. Þessi mynd úr Wright (1919b) er með kvarsfleyg Bates (1908), C er sýni. Að neðan t.v.: Fasajafnari Bereks (1913b) til mælinga á ellipsuskautun ljóss í smásjám. Hjólið snýr 0,1 mm kalkspat-þynnu í kringlóttu gatinu. Mynd úr Rosenbusch (1924). T.h.: Lýsingarbúnaður fyrir endurkasts-smásjár frá C. Reichert. 1 og 3 eru Nicol-prismu, sýni með finslípuðu yfirborði er á plötunni neðst. Mynd úr Wien-Harms (1928).

með samanburði: breytt var einhverjum mælanlegum stillingum þangað til birtustig tveggja ljósflata hlið við hlið sem horft var á samtímis, var jafnt. Fimm helstu aðferðirnar til þess voru: i) að breyta fjarlægð annars ljósgjafans frá sínum fleti ii) að senda ljós hans mislangt gegnum fleyg af reykliðu gleri iii) að breyta stærð ops sem ljósið kom gegnum iv) að skerða ljósmagnið með spaða sem snerist mjög hratt v) að láta ljósið fara gegnum silfurbergs-kubba, Nicol- eða Wollaston-silfurbergsprismu undir breytilegu horni. Wright (1919a, sbr. 1927) segir að mælar síðastnefndu tegundarinnar séu „widely used and are sensitive and reliable“, og sömuleiðis telur Weigert (1927, bls. 125) þá vera einna útbreiddasta allra ljósmæla. Í vísindatímaritum finnast allmörg dæmi um notkun þeirra til mælinga á ljósmagni, en þeir voru einnig oft hafðir



Mynd 29-8. Ljósmaelar með Nicol-prisnum. Að ofan t.v.: Skýringarmynd af tæki (Mischungsphotometer, Grosse 1887), til samanburðar á því ljósmagni sem fellur á möttu glerplötturnar G_1 og G_2 . Auk Nicol-prismans N er þarna Dove-prismað B úr silfurbergi. Úr Liebenthal (1907). T.h.: Ljósmaelir Webers (1891). Mynd úr bók Busch og Jensens (1910) sem notuðu hann til mælinga á ljósi frá himninum. Að neðan: Ljósmaelir Zöllners (1861, og síðar). Til vinstri er hann innbyggður í stjörnuvíki í Potsdam, til hægri sést þversnið. Athugandi í B deyfir ljós frá loga í strompinum t.h. með tveim Nicol-prisnum, uns honum virðist það jafnstærkt ljósi frá stjörnu í kíkinum. Með þriðja Nicol-prismanu og kvarsþynnu er leiðrétt fyrir mismunandi lit. Myndirnar eru úr Newcomb-Engelmann (1921).

við hendina í tilraunum til þess m.a. að kvarða önnur ljósmælitæki og ljóssíur, eða fylgjast með stöðugleika ljósgjafa.

Möller (1885a,b) sem endurbætti ljósmæli Wilds (1863), staðhæfir að „Für genauere photometrische Untersuchungen lassen sich bekanntlich nur die Polarisationsphotometer verwenden“. Pellin (1899) auglýsir til sölu ljósmæli af gerð E. Becquerels frá sjöunda áratugnum. Martens (1900, 1903, *Mynd 29-9* að ofan) lýsir tveim ljósmælum fyrir hvítt ljós með Wollaston-prisma úr silfurbergi og Nicol-prisma, og mátti flytja annan þeirra auðveldlega með sér. Firmað Schmidt & Haensch, sem Martens starfaði hjá, framleiddi þessa og aðra skautunar-ljósmæla í a.m.k. sex áratugi, sjá t.d. Glan (1877) og kafla 39.1.

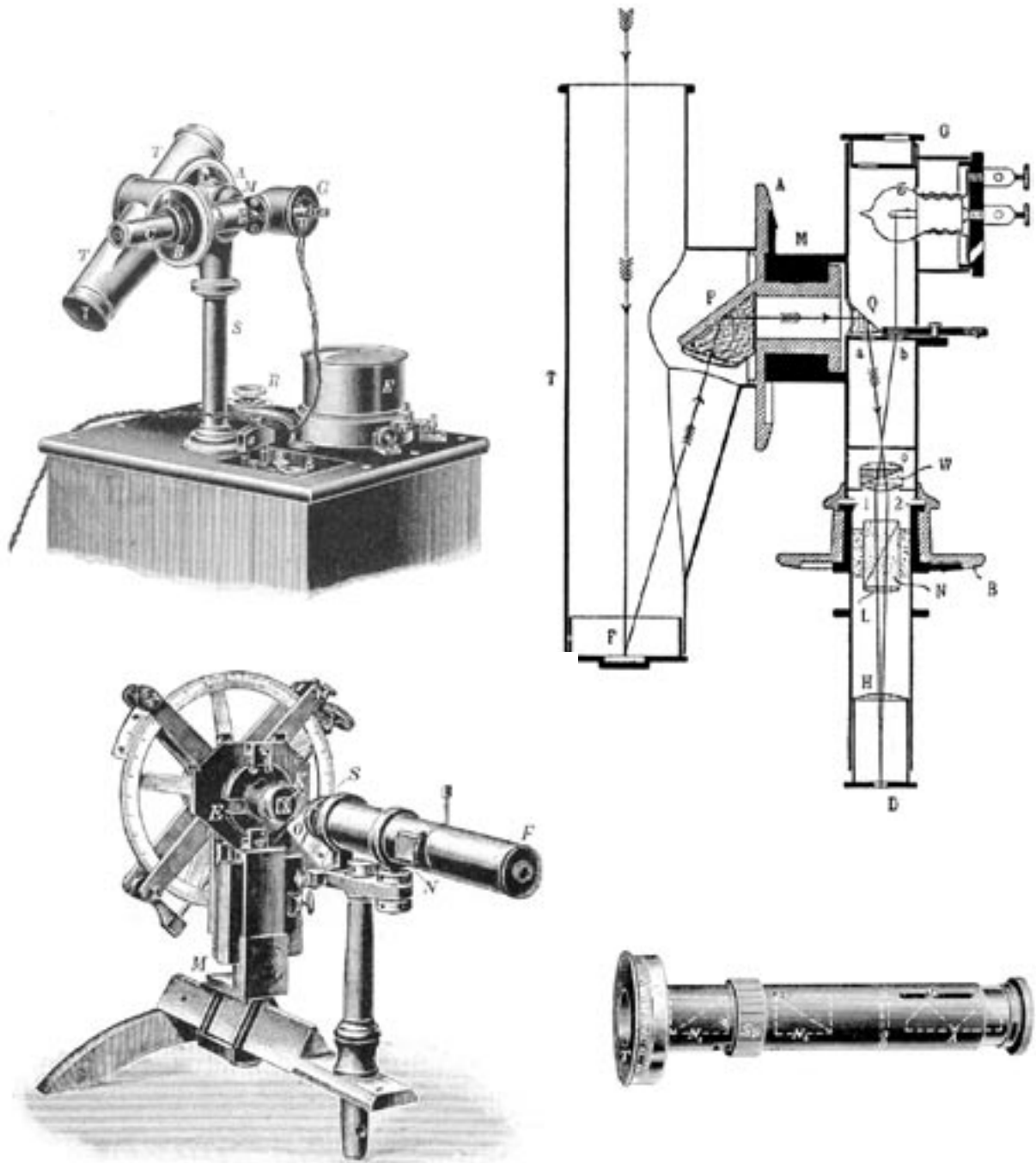
Godard (1886), Grosse (1887, *Mynd 29-8*), Weber (1891), Salomons (1893), Königsberger (1901b, *Mynd 29-9*) og Nutting (1903a) hönnuðu sömuleiðis ljósmæla byggða á skautunarbúnaði. Grosse-tækið er auglýst til sölu í verðlista verkstæðis A. Krüss í Hamborg 1899, ásamt ýmsum gerðum litrófs-ljósmæla. Tæki Webers (sem var endurbót á eldri mæli hans án Nicol-prisma), var framleitt til sölu af Schmidt & Haensch, og notað meðal annars við mælingar á ljósmagni frá lömpum. Busch og Jensen (1911) og samstarfsmenn rannsökuðu himin-ljósið með Weber-mælinum sem gat einnig metið skautunarástand þess (*Mynd 29-8*, sjá kafla 27.1), og Struers (1925) auglýsir hann. Sjá einnig kafla 36.1. Blondel (1920) segir frá skautunarmælum til að rannsaka dofnun ljóss í lofti og vökvum. Santon (1928) lýsir endurbót á ljósmæli Wilds (1863), sem Wild (1883, 1888, 1890) hafði raunar sjálfur gert ýmsar breytingar á.

Ýmis sérhæfð notkunarsvið fyrir ljósmælana komu fram. Ein tegund Martens-mælanna var ætluð til að mæla dökkun ljósmyndaplata (*Mynd 29-10*), og aðrar gerðir skautunar-ljósmæla nýttust e.t.v. einnig í þeim tilgangi því að W. Meidinger segir (í Gehrcke 1927, Band II, bls. 39): „Das geeignetste Instrument zur Messung photographischer Schwärzungen ist das Polarisationsphotometer“. Plöturnar mátti nota til að áætla styrk mjög daufrar geislunar, t.d. frá stjörnum eða í ýmsum litrófsrannsóknum, ef búið var að finna út með kvörðun hvernig dökkunin væri háð ljósstyrk, bylgjulengd og lýsingartíma. Kieser (1919) notaði breytta gerð af Martens-mælinum til að mæla gljúa ljósmyndapappír (*Mynd 29-13B*). Sérhönnuð tæki með Nicol-prismum voru síðan framleidd til sölu bæði austan hafs og vestan til að meta þann eiginleika yfirborða á pappír, málningu, glerungi o.fl. (Glanzmesser, glarimeter; Ingersoll 1921, Wien-Harms 1928, bls. 517-519, Boffey og Derrett-Smith 1931).

Í einni gerð ljósmæla, svonefndum flöktmælum (flicker photometers) eru þeir tveir ljósblettir sem bera á saman, látnir birtast til skiptis oft á sekúndu. Í afbrigði af þeim (Maisel 1908, Ives 1917) var Nicol-prisma sem snerist með jöfnum hraða, fyrir framan Rochon- eða Wollaston-prisma.

Ekki virðast skautunar-ljósmælarnir hafa verið mikið notaðir til að kanna grundvallarlögmál um varmageislun eftir rannsóknir þær sem nefndar eru í kafla 17.3. Þó gerði Möller (1885a) mælingar með tæki af Wild-gerð til staðfestingar á útgeislunar-lögmáli Lamberts sem segir að geislunin breytist með kósinus af horni frá lóðlínu.

Eins og getið var aftast í kafla 18.4, hafa menn iðulega notað tvö Nicol-prismu í einföldum umbúnaði til að deyfja ljós að vild meðan á tilraunum með það stóð. Crova og Lagarde (1881) notuðu þetta við samanburð á lýsingu frá sólinni og staðal-olíulampa. R.W. Wood (1905, bls. 175) kannaði á sama hátt eiginleika ljósgreiða með með því að bera saman styrk ljóss sem kom beint úr natrium-loga og styrk ljóss frá sama loganum eftir endurkast frá greiðunum. Í því sambandi má nefna, að notkun ljósgreiða í litrófsrannsóknum komst á verulegan skrið eftir 1882, en í fyrstu kynslóðum greiðanna voru kerfisbundnir gallar sem ollu hvítleiðum auka-litrófslínum, svonefndum draugum. Samkvæmt síðari heimildarritum átti Wood þátt í að kveða þessa drauga niður með bættri hönnun ljósgreiðanna. Camichel (1905) notaði samskonar aðferð



Mynd 29-9. Ljóstælar. Að ofan: Vinsæll mælir Martens (1900) fyrir hvítt ljós. Útlitsmynd t.v. og þverskurður t.h. Birtan sem á að mæla, kemur inn í kíkinn T og á plötuna F úr möttu gleri. Með spegla-fyrirkomulagi sér athugandi í D hana og um leið aðra matta glerplötu b sem peran g lýsir upp. W er Wollaston-prisma úr kalkspati, N er Nicol-prisma. Myndir úr Liebenthal (1907). Að neðan t.v.: Ljóstælar Königsbergers (1901b) með Nicol-prisma, kalkspatkubbi og Savart-plötu úr kvasi í smásjá, til að mæla ljósmagn frá mjög litlum flötum. Mynd úr Duparc og Pearce (1907). T.h.: Handhægur litrófs-ljóstælar úr verðlista R. Fuess (um 1910), samkvæmt hugmyndum Nuttings (1906).

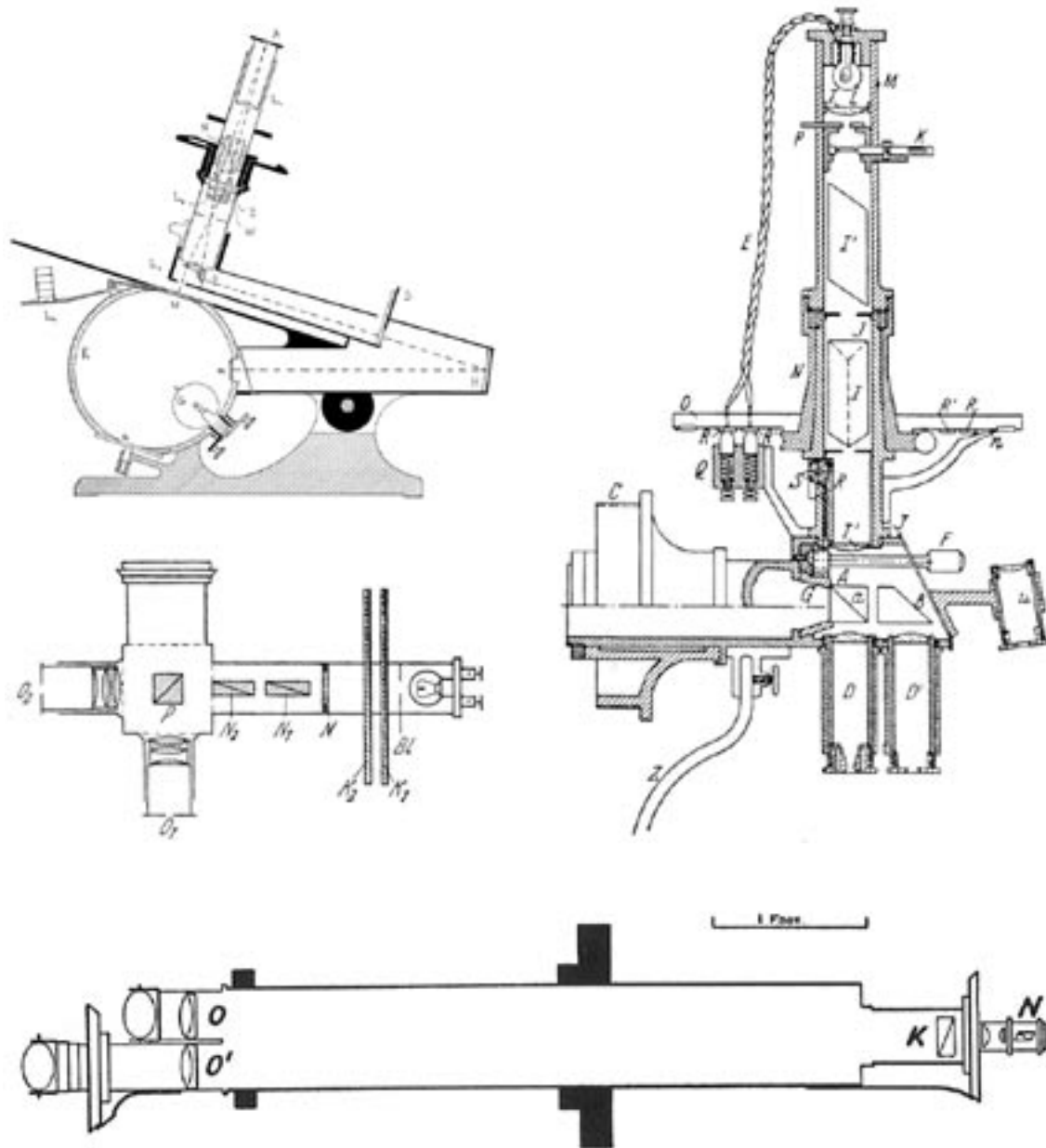
við könnun á ljósgleypni flúrljómandi efna, einnig Kűch og Retschinsky (1906) í samanburðarmælingum á ljósafli við prófun á nýrri tegund kvikasilfurslampa, Lépine (1915) í rannsókn á flúrljómun (*Mynd 36-4*), og Merton og Nicholson (1918) og Fabry og Buisson (1921) við kvörðun á næmni ljósmyndaplatna fyrir rannsóknir á litrófum. Gerlach og Brezina (1924) nýttu Nicol-prismu í búnað til að mæla hlutfallslegan styrk nálægra litrófslína í ljósi frá heitri málmguflu (eins og D-lína natriums); Gerlach ritaði síðar viðlesnar bækur um notkun litrófa (frá hátíðni-rafneista) við efnagreiningar, einkum á málum, og byggja þær aðferðir að nokkru á hliðstæðum mælingum ljósstyrks-hlutfalla með annarskonar tækjabúnaði.

29.5 Litrófs-ljósmaelar og skyld tæki með Nicol-prismum, 1870-1930

Tvær mismunandi gerðir ljósmæla hafa verið notaðar þegar ekki átti að mæla heildarljósstyrk, heldur ljósstyrk á afmörkuðu bili eða bilum af bylgjulengdum litrófsins. Eitt mikilvægasta hlutverk þeirra er við efnagreiningar í efnafræði, lífefnafræði og lækisfræði, og er þá ýmist mælt magn þess ljóss sem efni sendir frá sér í loga eða rafneista, eða þess ljóss sem efnið (einkum í vökvalausn) gleypir. Í því tilviki byggir úrvinnsla ljósstyrks-mælinga á lögmáli Beers sem nefnt var í kafla 18.4 og sem búið var að staðfesta nokkuð nákvæmlega um 1870 (Krűss og Krűss 1909, bls. 101-106). Ódýrari gerð ljósmæla nefnist litmælir (colorimeter) og mælir heildarljósmagn á nokkuð breiðu (og oft föstu) bili bylgjulengda. Þessi mælitæki duga t.d. vel á vatnslausnir þar sem eitthvert eitt litað efni er til staðar í miklu meira magni en öll önnur. Í slíku tæki eru tveir eins ljósgeislar sendir af stað frá lampa, og fer annar gegnum sýnið sem mæla á. Inn í hinn geislann skýtur athugandinn staðal-lausnum í mismunandi styrk eða magni (eða lituðum glerplötum) til samanburðar, uns báðir sýnast jafnbjartir. Í dýrari gerðinni af mælitækjum, litrófs-ljósmaeli (spectrophotometer), er þröngt bil bylgjulengda úr hvítu ljósi tekið fyrir í einu. Þá er ljósið brotið með prisma eða ljósgreiðu, og armi með sýni eða ljósmælibúnaði snúið þannig að eingöngu ljós af bylgjulengdum innan þessa bils sé notað við mælinguna. Þannig má kortleggja að vild hvernig styrkur óþekkts ljósgeisla breytist gegnum litrófið miðað við þekktan styrk annars geisla. Með þessari aðferð er til dæmis hægt að finna magn eins efnis í blöndu margra efna, ef það efni sendir út eða gleypir ljós á einhverju af þessum þröngu bylgjulengdabilum en hin efnin ekki. Skautunar-ljósmaelar voru framleiddir af báðum gerðunum.

Svo litmælum séu gerð skil fyrst, lýsir Krűss (1892) skautunar-litmæli sínum með Nicol-prisma, tveim öðrum kalkspatprismum og kvarsplötu, sem hafi „grosse Überlegenheit“ samanborið við aðra litmæla. Krűss og Krűss (1909, *Mynd 29-13A*) gefa dæmi um mælingar á magni málmsalta í vatnslausn með þessu tæki upp á nákvæmni betri en 1%, og nefna að það geti einnig nýst við eftirlit með gæðum neysluvatns og bjórs, litarefna í iðnaði, og jafnvel stáls. Krűss-litmælarnir voru framleiddir af samnefndu fyrirtæki, sem nefnt var í kaflanum hér á undan; það er enn starfandi á skyldum sviðum. Pellin (1899) auglýsir til sölu litmæla með Nicol-prismum, og Meisling (1904, *Mynd 29-13A*) hannaði einn slíkan til mælinga á hemoglobini í blóði. Skautunar-litmælarnir voru þó aðeins lítill hluti litmæla á markaðnum: aðrar tegundir eru allsráðandi t.d. í greinum í bandaríska tímaritinu *Journal of Biological Chemistry* 1905-25 og í verðlista Struers (1925). Litmælingar á blóði o.fl. vökvum voru lengi mun einfaldari og fljótlegri en litrófs-ljósmaelingar (sjá til dæmis grein eftir W.C. Stadie í *J. Biol. Chem.* 41, 1920).

Litrófs-ljósmaeli var fyrst lýst af Govi (1860a), og voru Nicol-prismu fljótlega tekin í gagníð í þesskonar tækjum. *Encyclopaedia Britannica* (11. útg. 1910-11, kafli: Photometry), Weigert



Mynd 29-10. Ljósætlar fyrir stjarnfræðirannsóknir. T.v. að ofan: Tæki Martens (1900) við mælingar á dökknun ljósmyndaplata (úr t.d. stjörnukíkum eða litrófssjám). Lýst er gegnum þær með perunni G. Mynd úr Weigert (1927). T.v. í miðju: Mælir Rosenbergs (1921). Ljós t.d. frá tunglinu fellur að ofan á Lummer-Brodhun glerprismað P. Athugandi í O_1 eða O_2 ber það saman við ljósið frá perunni, sem má deyfa með Nicol-prismunum eða lituðum glerfleygum K_1, K_2 . T.h.: Mælir E. Schoenbergs frá 1917 (sjá Hellerich 1937), einkum ætlaður til mælinga á ljósi frá reikistjörnunum. Það kemur inn frá vinstri neðantil, og athugandi í D ber það saman við ljós frá perunni efst, eftir deyfingu með Nicol-prismunum. Neðst: “Meridian photometer” Pickerings (1882), einn nokkurra sem hann hannaði og mældi tugþúsundir stjarna með ásamt samstarfsmönnum. Ljósi frá tveim stjörnum er beint gegnum O og O' , og það borið saman með hjálp Rochon-prismans K (úr gleri og kvarsi) og Nicol-prismans N. Mynd úr Walsh (1958).

(1927), Walsh (1958) o.fl. heimildir nefna skautunar-litrófsljósmæla eftir m.a. H. Trannin (1876), P. Glan (1877, *Mynd 29-11*), W. v. Zahn (1878), A. Crova (1880, 1883, *Mynd 29-11*), G. Hüfner (1877, 1889, *Mynd 29-12*), en sá mælir var endurbættur af Houstoun (1908) með sérstöku fimmhyrnu silfurbergsprisma, A. König (1894), G. Melander (1897, auglýstur í Pellin 1899), J. Königsberger (1903), J.R. Milne (1904), P.G. Nutting (1911, sjá *Mynd 29-12*) og H.B. Lemon (1914). Fyrirnefndar heimildir telja þó upp ýmis vandamál við notkun þessara mæla. Hér er enn ógetið einnar þekktustu tegundar skautunarljósmælanna, König-Martens mælisins (*Mynd 29-12*). Hann var endurbót Martens og Grünbaums (1903) á mæli Königs, og höfðu þeir m.a. sett þar Wollaston-prisma úr silfurbergi í stað Rochon-prisma úr kvarsi.

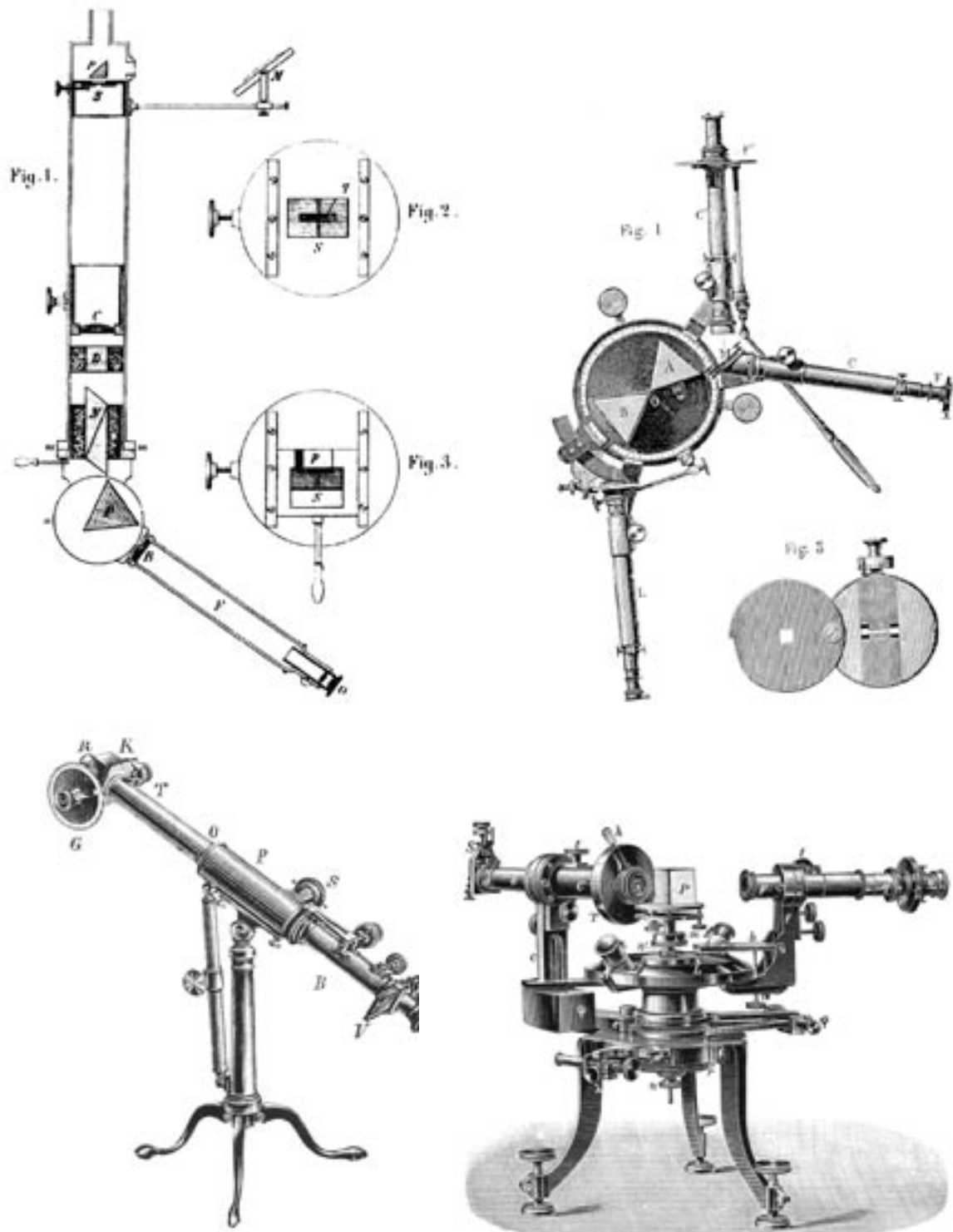
König-Martens mælarnir gerðu mikið gagn í þeim rannsóknum á dreifðu ljósi sem lýst var í kafla 27.1 (Aufsess 1904, Steubing 1908, Stamm og Svedberg 1925, o.fl.) og sagt verður frekar frá í kafla 36.7 (t.d. Fürth 1915). Sömuleiðis voru þeir notaðir í mælingum á ljósgleypni uppleystra málm-salta (t.d. Grünbaum 1903, Müller 1906) og á magni blaðgrænu í plöntuhlutum (Malarski og Marchlewski 1910), við athuganir á efnajafnvægi í lausnum (Hildebrand 1908), hraða ljósörvaðra efnahvarfa (Luther og Forbes 1909) og útgeislun glóheitra máлма (Stubbs og Prideaux 1912), svo dæmi séu tekin. Stuchtey og Wegener (1911) mældu endurkastshlutfall sólarljóss (albedo) frá jörðinni og skýjum í sex ferðum í loftbelg, með sérsníðuðu afbrigði König-Martens mælis.

Hüfner-mælirinn nýttist t.d. við að mæla hraða sveim-blöndunar (diffusion) tveggja vökva (Wroblewski 1881), ljósgleypingu málm-salta í vatnslausn (Magnanini og Bentivoglio 1893), og dökkun ljósmyndafilma í ýmsum athugunum á og með ljósi (Mees og Sheppard 1904). Mælirinn var síðar framleiddur af verkstæði A. Hilgers með endurbótum Twymans (1906), og meðal annars notaður af Leder (1907) til mælinga á útgeislunarrófum lampa.

Ketteler (1881; Ketteler og Pulfrich 1882) notaði ljósmæli af Glan-gerð til að prófa merkar kenningar sínar um vensl brotstuðla og gleypni ljóss í lituðum vöknum; þess má geta, að hann hafði einnig nýtt sér mælingar Mascarts (1864) á brotstuðli venjulega geislans í silfurbergi við þróun þeirra kenninga. Svipaðar rannsóknir voru einnig gerðar af Plaats (1915) á lífrænum litarefnum. Messerschmitt (1885) kannaði með Glan-mæli (endurbættum af H.C. Vogel, sjá kafla 29.6) ljósgleypingu ýmissa efna sem auka næmni ljósmyndaplata. Zsigmondy (1901) sem vann hjá glerverksmiðju O. Schotts, mældi með Glan-tæki ljósgleypni glertegunda sem í var blandað málmoxíðum til að gefa þeim lit; segir hann ýmsa þekkingu á því sviði vera „für die Glasindustrie von höchster Wichtigkeit“.

Litrófs-ljósmælum með Nicol-prismum var ennfremur beitt til að aðgreina litarefni m.a. í matvælum (Gibson o.fl. 1922) og margskyns iðnvarningi (Nichols 1884, Holmes 1923), til að mæla ljósmagn gaslampa (Wild 1888) og annarra ljósgjafa (Vogel 1877, Nichols og Franklin 1889, o.fl.) s.s. í götu- og vinnustaðalýsingu, kanna endurkast ljóss frá dufti (Wright 1900), máluðum veggjum (Nutting 1912) og öðrum möttum flötum (Messerschmitt 1888, Návrat 1912), rannsaka flúrljómun efna, m.a. af völdum geislavirkni (Hauer og Kowalski 1914, *Mynd 29-12*, Wawilow 1925, Smith 1926), mæla ljósgleypni í glertegundum og litarefnalausnum við mismunandi hitastig (Königsberger 1901c, Houstoun 1906, Königsberger og Kilchling 1909), o.s.frv. Umow (1912) lýsir litrófsgreini með Nicol-prismum og Savart-plötu til mælinga á ljósgleypingu í efnum og á eðli litarefna: samkvæmt Dictionary of Scientific Biography (1980-90) komust tæki af gerð Umows í notkun víða, bæði á rannsóknastofum og við prófanir á litum í textíl-iðnaði. Fuess (um 1910) auglýsir þrjár tegundir af „vasa-litrófsljósmælum“ (*Mynd 29-9*) og er ein þeirra byggð á hönnun Nuttings (1906).

Gouy (1876, *Mynd 29-11*) lýsti skautunar-litrófsljósmæli með Nicol-prismum og silfurbergskubbi til að mæla ljósmagn frá gasloga sem var litaður með því að sprauta inn í hann lausnum af ýmsum málm-söltum. Endurbættri gerð slíks mælis er svo lýst í ítarlegri grein



Mynd 29-11. Litrófs-ljóstælar frá um 1880, allir með Nicol-prismum. Að ofan t.v.: Mælir Vogels (1877), ætlaður til athugana á sólinni. T.h.: Mælir Gouys (1879) til rannsókna á lituðum logum. Að neðan t.v.: Mælir Crovas (1883) m.a. til efnagreininga á vatnslausnum, mynd úr Krüss og Krüss (1909). Þeir tveir síðasttöldu voru framleiddir til sölu af verkstæði Ph. Pellins, auk ljósmæla Govis, Violles og Melanders. T.h.: Mælir Glans (1877, og síðar), hér innbyggður vinstra megin í litrófs-sjá m.a. til rannsókna á ljósgleypni í kristöllum; mynd úr Liebisch (1891).

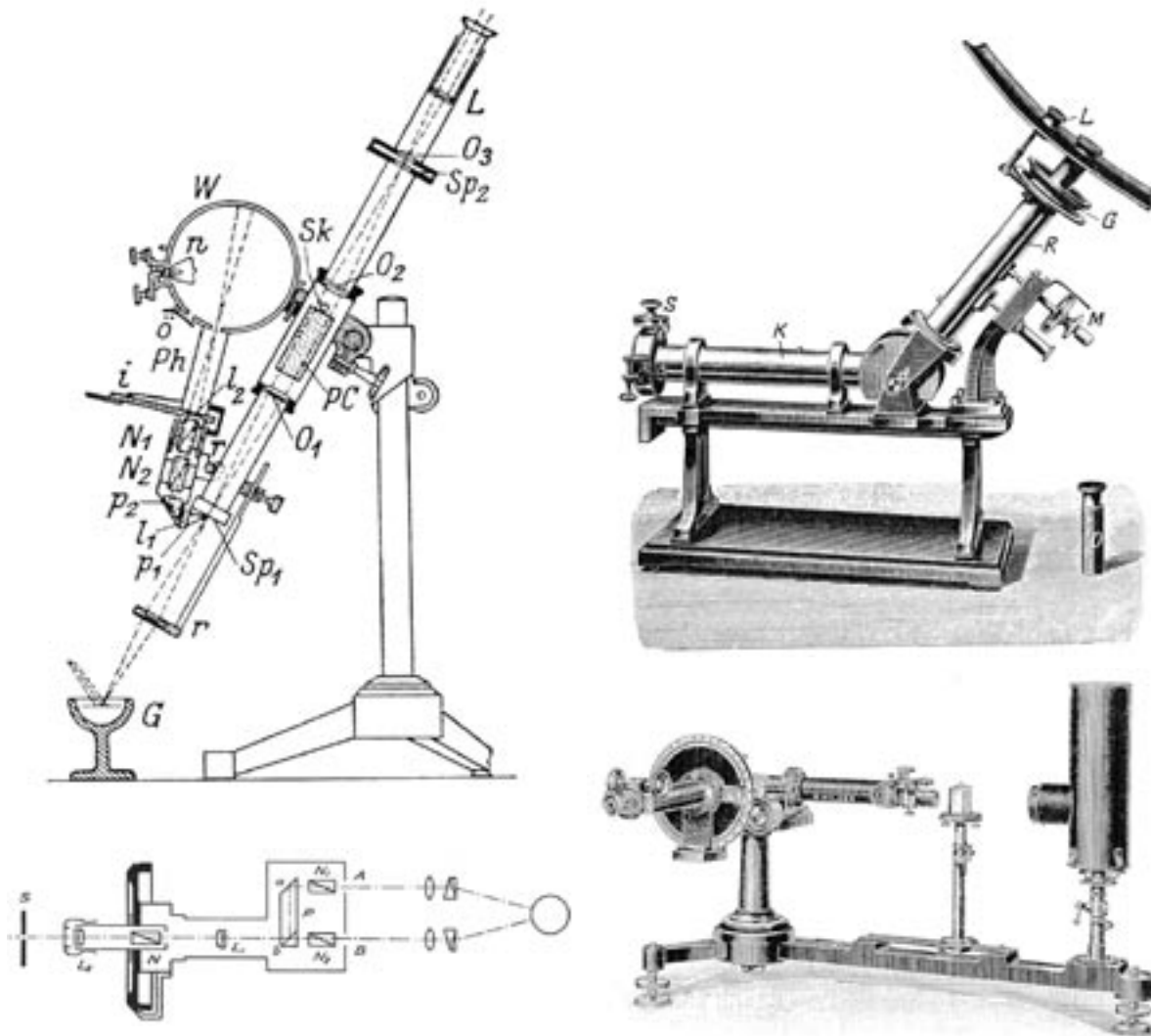
um niðurstöður mælinganna (Gouy 1879). Segir Cotton (1899) þær tilraunir hans hafa veitt athyglisverða innsýn í þau lögmál sem stjórni útgeislun og gleypingu ljóss almennt. Camichel (1895) notaði breytta gerð af litrófs-ljósmaeli Gouys við mælingar á ljósgleypni í kristöllum og í brómi. Verðlisti Pellins (1899) auglýsir þetta tæki til rannsókna á litrófum m.a. frá logum og málmgufum.

Ég hef ekki skoðað hvenær notkun ljósmælanna við „rúttínu“-efnagreiningar hófst fyrir alvöru; Hüfner (1877), Glazebrook (1883b) og Crova (1883) ræða þann möguleika í lýsingum á litrófs-ljósmaelum sínum og vitna til eldri heimilda. Sabatier (t.d. 1887) notaði Crova-mælinn til að kanna ljósgleypni króm- og bróm-sambanda, og í verðlista Pellins (1899) er kynnt að hann henti meðal annars vel til magnbundinna efnagreininga. Camichel og Bayrac (1901) rannsökuðu með honum fenól-litarefni, og Vaillant (1903) lausnir salta og lífrænna efna. Houstoun og Brown (1911) gera svipaðar athuganir með tæki Houstouns sem nefnt var hér að ofan, og Getman (1922) með mæli af Nutting-gerð.

Litrófs-ljósmaelar með Nicol-prismum áttu greinilega einnig talsverðan þátt í þróun mælinga á efnum í blóði út frá ljósgleypni þeirra. Þannig rannsökuðu Noorden (1880), Hüfner og Külz (1883) og Otto (1885) eiginleika hemoglobins með skautunarmælum Hüfners, og síðar einnig meðal annarra Krüger (1888), Saint-Martin (1900), Butterfield (1909), Hári (1917), og Welker og Williamson (1920). Ray o.fl. (1932) segja töflur sem Hüfner birti um ljósgleypnina fyrir aldamótin, enn vera notaðar. Á tímabili töldu sumir að hemoglobinið breyttist verulega í veikindum, en Butterfield sýndi að slíkt væri ólíklegt. Hüfner mun enn hafa bætt mæli sinn um 1907 og notaði Butterfield hann að hluta, en skipti svo yfir í König-Martens ljósmæli. Kennedy (1927) bar niðurstöður úr König-Martens mæli frá Bausch & Lomb saman við aðrar aðferðir af óskyldum toga, sem þá voru að ryðja sér til rúms við mælingar á hemoglobini. É. Branly (1882) og Kraus o.fl. (1899) beittu litrófs-ljósmaeli af Glan-gerð í sama tilgangi, og segir Branly þá taka öðrum fram. Soret (1883) notaði silfurbergs-prismu í eigin ljósmæli til rannsókna á því hvernig blóð og efni úr því gleypu útfjólublátt ljós, og fann þá m.a. sterka gleypni við rúmlega 400 nm. Þar komu við sögu porfyrin-efni sem eru einkennandi fyrir svonefnd hemoprótein, og er viðkomandi bylgjulengdabil síðan nefnt „Soret's band“. Í ýmsum próteinum fann hann einnig sterka gleypni kringum 275 nm; hún getur t.d. átt þátt í hluta af þeim skemmdum sem útfjólublátt ljós (UVB) veldur á dýravefjum. Á árinu 1896 áttuðu menn sig fyrst á þeirri mikilvægu staðreynd að efnasamsetning blaðgrænu og hemoglobins er mjög svipuð. Komu silfurbergsprismu a.m.k. lítillega við sögu frekari athugana á gleypirófum porfyrin-efna í því samhengi (t.d. Schunck 1898, 1899, Marchlewski og Schunck 1900).

Eins og fram kom hér að ofan, voru litmælar ef til vill vinsælli en litrófs-ljósmaelar í rannsóknum á hemoglobini og skyldum efnum framan af 20. öldinni. Ray o.fl. (1932) og Drabkin og Austin (1932) taka þó sérstaklega fram að ljósmælarnir séu nákvæmir og fljótvirkir á því sviði ef rétt sé að mælingunum staðið. Síðarnefndu höfundarnir notuðu tæki af König-Martens gerð.

Tæki með Nicol-prismum voru ekki notuð við þær mælingar sem J. Stefan byggði á tilgátu sína 1879 um að útgeislað ljósafl vaxi með algildis-hitastigi í fjórða veldi. Violle (1881) gerði mælingar á þessu atriði með skautunar-litrófsljósmæli sem hann hafði hannað upp úr eldri tegundum, og taldi flóknari formúlu sem hann setti fram sjálfur, passa betur við niðurstöðurnar. Þarna var Violle þó óheppinn, því að L. Boltzmann sýndi fram á það 1884, að fjórða-veldis vensl Stefans mætti leiða beint út úr grundvallarsetningum varmaafkræðinnar. Garbe (1887) sem mældi útgeislun ýmissa lampa með Crova-ljósmaeli, var enn óheppnari því að hann treysti betur gamalli formúlu E. Becquerels (1863, sjá kafla 17.3) en Stefan-Boltzmann lögmálinu til túlkunar á mælingum sínum. Ef til vill átti þetta þátt í að draga úr áhuga á notkun skautunar-ljósmaela við rannsóknir á hitageislun; þeir voru þannig aðeins í aukahlutverki (t.d. Crova og



Mynd 29-12. Litrófs-ljóstælar eftir 1890. Að ofan t.v.: Ljóstælar Hauer og Kowalskis (1914) við mælingu á ljómun vökvva. Sleppt er hér búnaði sem lýsir á vökvann. T.h.: Mælar Königs (1894) sem Martens og Grünbaum (1903) endurbættu og firma Schmidt & Haensch seldi í áratugi. Mynd úr Weigert (1927). Ljós kemur frá vinstri, tvístursprisma er í beygjunni en Wollaston- og Nicol-prismu ofar. Að neðan t.v.: Nutting (1903 og síðar) hannaði nokkur tæki með Nicol-prismum til mælinga á ljósi og litum. Þetta er skýringarmynd (Walsh 1958) af einu þeirra, sem A. Hilger framleiddi til nota í margskonar iðnaði. T.h.: G. Hüfner (1877 og síðar) hannaði litrófs-ljóstæla, suma með Nicol-prismum, m.a. til blóðrannsóknna. Mynd úr Mees og Sheppard (1904).

Houdaille 1890) við rannsóknir fyrir og um aldamótin á afli þeirrar geislunar sem við fáum frá sólinni.

Í tengslum við rannsóknir á útgeislun komu óhjákvæmilega upp spurningar varðandi dreifingu ljósorkunnar á hinar ýmsu bylgjulengdir við mismunandi hitastig. Þetta var m.a. athugað lauslega af Nichols (1879, 1880) með leukoskopi (tæki sem innihélt Nicol-prismu, sjá kafla 29.7) og af Lecher (1882) með skautunar-ljóstæli af Glan-gerð. Merkar mælingar á rófdreifingu svarthlutargeislunar (Paschen og Wanner 1899, Wanner 1900, Paschen 1901) voru gerðar að hluta með litrófsljóstæli Königs sem innihélt Rochon- og Nicol-prismu eins og fram hefur komið. Vitnað er til þeirra í grein M. Plancks (1900) um útgeislun ljóss, og áttu mælingarnar þátt í að staðfesta kenningu W. Wiens um að sú bylgjulengd þar sem útgeislunin

sé mest, sé í öfugu hlutfalli við hitastig svarthlutarins. Hin mikilvæga dreifingarformúla fyrir svarthlutar-rófinu sem Planck setti fram 1901 og markar upphaf skammtakenningarinnar, var hinsvegar einkum leidd út til að skýra niðurstöður um útgeislaða aflið sem fengust með rafrænum tækjum (bolometer o.fl.).

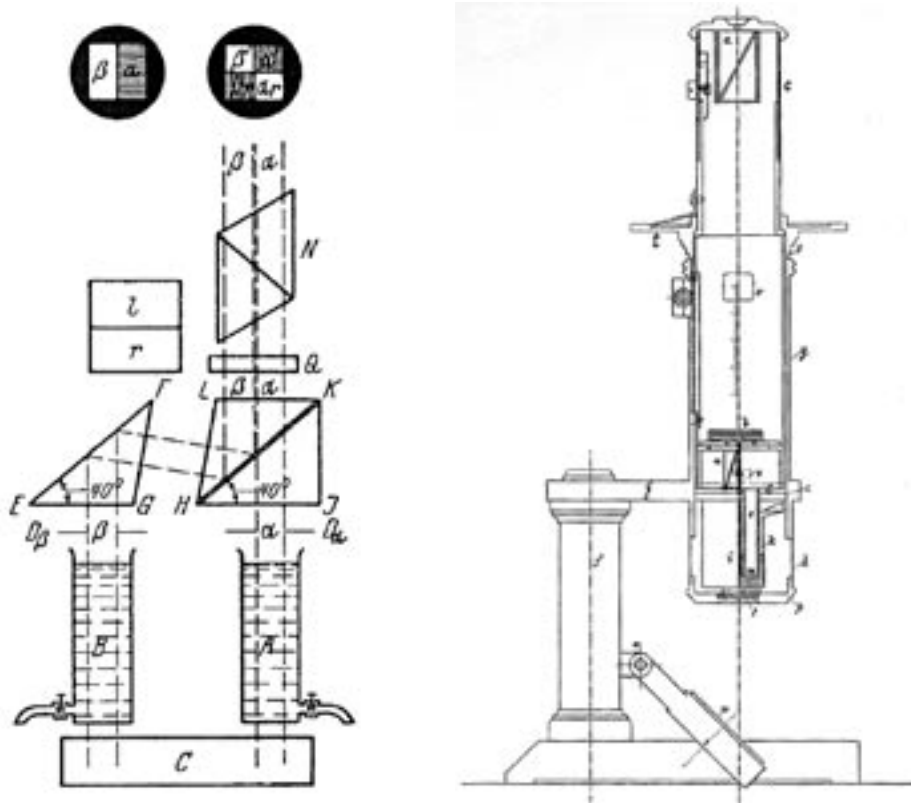
Fyrir ýmsar grundvallarrannsóknir varðandi ljósmælingar og útgeislun er mikilvægt að allir hafi aðgang að samskonar staðal-ljósgeisla. Margskonar kerti, olíu-, gas- og raflampar voru prófaðir í þessu skyni, en Violle (1884) stakk upp á að nota ljósmagn það sem ein flatareining af platinu við eigið bræðslumark sendir frá sér. Við mælingu á því ljósmagni notaði hann bæði litrófs-ljósmæli sinn sem nefndur var í næstsíðustu málsgrein, og breytta gerð hans. Hugmyndin fékk jákvæðar undirtektir sumstaðar (Winkelmann 1906, bls. 755) en var erfið í framkvæmd (sjá nefndarálit í B.A. Report 1888; Liebenthal 1907, bls. 134, 147) og því lítið notuð a.m.k. fram yfir 1930. Regla svipuð tillögu Violles um þennan ljós-staðal var endanlega samþykkt af alþjóðanefndum 1948.

H. Wanner sá sem nefndur var hér rétt fyrir ofan, breytti litrófs-ljósmæli Königs gagnert til þess að auðveldlega mætti áætla með honum hitastig glóandi hluta (um 900-4000°C; Wanner 1902; Liebenthal 1907, bls. 421, Burgess og Le Chatelier 1912, Ribaud 1931, bls. 282-289). Var þessi Wanner pyrometer framleiddur til sölu í e.t.v. 15-20 ár (*Mynd 29-13B*), og sagður „of great precision and convenience“ í yfirlitgrein um háhitamælingar (Phys. Rev. 19, 1904). Hann gerði gagn víða í iðnaði við að bæta afurðir og spara orku. Má þar nefna bræðslu margskonar málma (Nernst og Wartenberg 1906, Greenwood 1909), glergerð, leir- og sementsbrennslu, kolbogaljós (Waidner og Burgess 1904), koks-gerð úr kolum, framleiðslu eldfastra efna (Goodwin og Mailey 1906), slípiefna (Lampen 1906, Gillett 1911), þungmálma (Lely og Hamburger 1914), stáls (Greenwood 1918), glóvíra (Pirani 1910), o.s.frv. O. Serpek fann upp nýja aðferð til efnasmíði á ál-nítríði sem var m.a. nytsamt sem hitapolið efni til fóðrunar bræðsluofna að innan og sem millistig í ammoniakframleiðslu. Í einu af mörgum einkaleyfum hans (Serpek 1909) er tekið fram að ferlið krefjist „genauer Beobachtung der Temperatur mittels eines optischen Pyrometers von Wanner“. Nernst (m.a. 1906) rannsakaði svarthlutargeislun með Wanner-mæli, Jellinek (1906) kannaði varmafræði sundrunar köfnunarefnisoxíðs við háan hita með honum, og King (1913, o.fl.) notaði hann við ítarlegar rannsóknir á áhrifum hitastigs á útgeislunarlitróf ýmissa málma til samanburðar m.a. við litróf stjarna. Öðruvísi háhitamæli með Nicol-prismum verður lýst í kafla 29.7; optiskir hitamælur sem byggðu á fyrirbrigðum ótengdum ljósskautun voru einnig á markaðnum.

29.6 Nicol-prismu í stjarnfræði

Silfurberg hefur komið víða við í stjarnfræði-rannsóknum. Í öðrum köflum í þessu riti er t.d. rætt um mælingar F. Zöllners á ljósmagni stjarna o.fl. himinhnatta (k. 18.4, *Mynd 29-8*), þátt tvístursprisma úr silfurbergi í litrófsrannsóknum W. Huggins o.fl. (k. 29.8), rannsóknir á segulsviði sólar (k. 30.1), og hin merku tæki B. Lyots (k. 39.2). Salet (1910) nefnir, að vegna skautunar ljóssins frá himninum geti stjörnur sést betur en ella kvölds og morgna ef horft er gegnum Nicol-prisma, en ekki hef ég séð aðrar heimildir um hagnýtingu silfurbergs í þeim tilgangi. Hér verður hinsvegar sagt frá nokkrum mikilvægum verkefnum í stjarnfræði þar sem silfurberg, einkum í Nicol-prismum til ljósmælinga, lék stórt hlutverk frá um 1875.

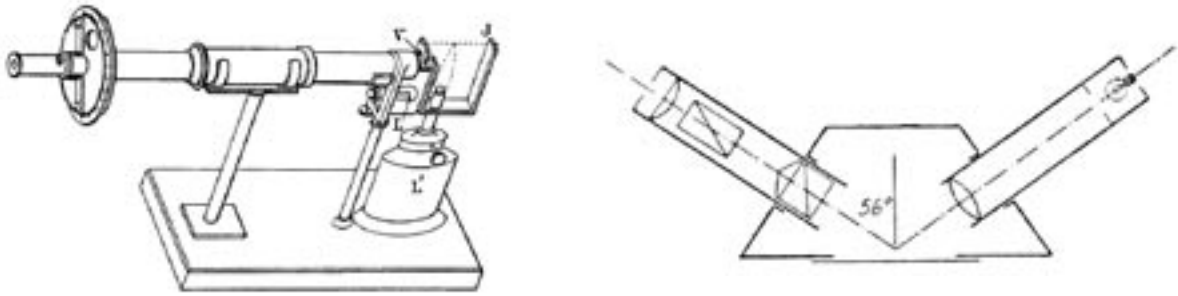
„Nächst der Spektralanalyse bildet die Photometrie die wichtigste Disziplin der Astrophysik“ (Newcomb-Engelmann 1921). Endurbætt gerð eins af ljósmælum Zöllners var sett upp í nokkrum stjörnu-athugunarstöðvum í Evrópu og víðar eftir 1870. Með ýmsum frekari



Mynd 29-13A. Litmælar (kolorimetrar). T.v.: G. og H. Krüss (1909, o.fl.) hönnuðu og framleiddu bæði litrófs-ljósmaela og litmæla, að hluta með Nicol-prismum. Þessi skýringarmynd af einum þeirra, til að meta magn málsalta o.fl. efna í vatnslausnum, er úr Handbuch der Physik 19, 1928. T.h.: Litmælir Meislings (1904) til blóðmælinga.

endurbótum (t.d. Müller 1901) voru þeir mikið notaðir til 1910 eða svo, jafnvel á stöku stað fram yfir 1930 þótt ljósmyndataekni og rafrænir ljósmælar hefðu þá að mestu leyst slíka mæla af hólmi. Merkasta framlag Zöllner-mælanna var birtumæling allra stjarna á norðurhveli himins með birtustig að 7,5 í Potsdam (*Mynd 29-8*), alls um 19 þúsunda á árunum 1886-1905 (sjá aths. við Müller og Kempf 1894, 1899 í heimildaskrá).

Eftir nokkurra ára prófanir á Zöllner-mæli við stjörnustöð Harvard-háskóla (Peirce 1878) þróaði E.C. Pickering forstöðumaður hennar frá um 1876 annarskonar ljósmæla er byggðu ýmist á tveggja geisla prismum (úr silfurbergi og gleri) eða silfurbergsplötu og Nicol-prisma (Pickering 1879, Pickering o.fl. 1884, *Mynd 29-10*). Í þeim mælum sá athugandinn hlið við hlið stjörnuna sem birtumæla átti, og aðra með þekkt birtustig (í stað lampaljóssins í Zöllner-mælinum). Hófust umfangsmiklar mælingar vorið 1879. Pickering gerði ásamt samstarfsmönnum sínum um milljón ljósmælingar á 45 þúsund stjörnum á öllu himinhvelinu til 1906, að hluta eða öllu leyti með Nicol-prisma mælunum (sjá Pickering 1895; King 1955, bls. 296; Sterken og Staubermann 2000). Dictionary of Scientific Biography (1980-90, um Müller) segir að stórvirki Potsdam- og Harvard-manna í birtumælingum hafi „furnished the most exact photometric information on stars then available“ og hinar útgefna skrár um þær mælingar séu enn „an indispensable standard work“. Í stað Nicol-prismana voru stundum notaðir fleygar úr reyklitu gleri til að deyfja samanburðargeisla, en dæmi má sjá í ritum Pickerings, C. Pritchards o.fl. um að þeir hafi verið kvarðaðir með hjálp Nicol-prisma.



Mynd 29-13B. Tveir sérhæfðir ljósmælur með Nicol- og Wollaston-prismum, byggðir á mælum F.F. Martens. T.v.: Háhitamælir (pyrometer) Wanners (1902), sem var framleiddur m.a. til nota í málmbræðslum. Mynd úr Ribaud (1931). T.h.: Lauslegt þversnið úr Wien-Harms (1928) af tæki Kiesers (1919) til mælinga á gljáa pappirs.

Eins og fyrr var nefnt, hafði Zöllner (1868) komið sér upp búnaði með Nicol-prismum til að skrá lit stjarna á tölulegan hátt. Hefur hann sjálfsagt vænst þess að sú aðferð tæki við af einfaldari mats-aðferðum sem m.a. J. Schmidt og H.J. Klein voru þá byrjaðir með. Fáeinir mældu fjölda stjarna kerfisbundið með þessum Zöllner Kolorimeter (t.d. Rosén 1870, Peirce 1878), og nokkrir aðrir gerðu strjálmi mælingar. Menn eins og G. Müller og P. Kempf, H. Osthoff o.fl. héldu áfram að áætla lit stjarna „eftir auganu“ eingöngu eða með hjálp litaðra glerplatna fram yfir aldamótin 1900. Var það ekki nógu nákvæmt til þess að t.d. sjá þær litasveiflur sem verða á svonefndum sefita-breytistjörnum samhliða birtusveiflum þeirra. Um aldamótin fóru nýjar aðferðir til litar-matsins að koma fram. Ein (kennd við K. Schwarzschild) byggði á því að birtu stjarna mátti mæla út frá dökkun ljósmyndaplata af staðlaðri gerð, en næmni platanna var mest við um 440 nm bylgjulengd meðan næmnihámark mannsaugans (og þar með ljósmæla af Zöllner- og Pickering-gerð) er við 560 nm. Fengust því tvö birtustig út, eftir því hvernig geislun viðkomandi stjörnu dreifðist yfir litrófið. Út frá mismun þeirra, sem kallaður var litvísir (Farbenindex), mátti skipta stjörnunum í um 20 flokka (Newcomb-Engelmann 1921, bls. 550) og reyna síðan að tengja hann við t.d. hitastig þeirra. Fleiri aðferðir til að meta þennan litvísi voru þó í notkun samhliða á fyrstu áratugum 20. aldar. Enn önnur flokkunarkerfi sem byggðu á sérkennum í litrófum stjarna voru einnig þróuð snemma á öldinni (t.d. OBAFGKMN-kerfi Harvard-háskóla) og urðu ofan á.

Auk þessarar kortlagningar voru Zöllner- og Pickering-mælarnir notaðir til að fylgjast vandlega með fjölmörgum breytilegum stjörnum (nýstirnum, sefitum, myrkva-tvístirnum o.fl.) á báðum þessum stöðum og víðar, t.d. af Wendell (1909), McDiarmid (1924) og af V.K. Ceraski í Moskvu. Samkvæmt Dictionary of Scientific Biography (1980-90) áttu mælingar þeirra, og þó einkum Shapleys (1915) með mælum af Pickering-gerð, mikinn þátt í að skýra eiginleika myrkvastjarnanna. Túlkun Shapleys leiddi einnig til þeirrar merku niðurstöðu hans um svipað leyti, að sefitarnir væru ekki tvístirni. Hann fylgdi síðan eftir (m.a. Shapley 1918) þeirri tilgátu E. Hertzsprungs frá 1913 að nán tengsl væru milli meðal-ljósmagns og sveiflutíma sefitanna. Þetta var stórt skref í gerð mælikvarða fyrir stærð alheimsins. Hluti af gögnum þeim sem Hertzsprung og Shapley notuðu, mun hafa fengist með silfurbergs-mælunum.

Á árinu 1691 hafði I. Newton spurt þeirrar mikilvægu spurningar, hvort ljós af öllum litum ferðaðist jafnhrað um himingeiminn. Löngu síðar varð það lykilatriði í kenningum Maxwells (og enn síðar Einsteins), að í tómarúmi hefðu allar rafsegulbylgjur sama hraða. Um miðja 19. öld stakk F. Arago upp á aðferð til að svara spurningunni, með því að mæla hvort sveiflurnar í birtu breytistjarna (eins og Algols) væru alveg samstíga fyrir blátt og rautt ljós. Nordmann

(1909a) gerði athuganir á þessum sveiflum í nokkrum slíkum stjörnum með eigin ljósmæli sem hafði tvö Nicol-prismu eins og mælir Zöllners; setti Nordmann mismunandi litsíur (vatnslausnir af litarefnum) fyrir ljósop tækisins til skiptis. Aðferðir hans og niðurstöður voru gagnrýndar, en Shapley (1923) vann síðar á svipaðan hátt úr birtumælingum S.J. Baileys og sínum (sem gerðar voru með ljósmyndum) á sefita-breytistjörnum í þekktri fjarlægð. Sló hann því föstu að hraðamunur blás og guls ljóss í geimnum næmi ekki meiru en einum parti af tuttugu milljörðum. Þetta má skoða sem mikilvæga staðfestingu á kenningum Maxwells og Einsteins hvað varðar það að ljóshraðinn sé fasti. Engin leið hefði verið að afla þessarar niðurstöðu á jörðu niðri: nákvæmni mælinga á ljóshraðanum þá var ekki betri en einn hundraðþúsundasti. Önnur grundvallarspurning varðandi kenningar Maxwells og Einsteins snerist um það, hvort hraði ljósgjafa í geimnum hefði áhrif á hraða ljósbylgna frá honum. Var þeirri spurningu einnig svarað með úrvinnslu gagna frá myrkvastjörnum (m.a. Zurhellen 1914).

Eins og fram hefur komið voru litrófs-ljósmælar með Nicol-prismum talsvert notaðir við könnun á útgeislun glóheitra hluta (sjá t.d. Crova 1878, 1880) og lofttegunda við mismunandi þrýsting (Lagarde 1885), og geta hafa flýtt fyrir ýmsum uppgötvunum á þeim sviðum. Crova (1878, bls. 981) ræddi um að nota litróf stjarna til að áætla yfirborðs-hitastig þeirra með samanburði við litróf heitra hluta og loga á jörðu niðri. Vogel (1877, *Mynd 29-11*) breytti Glanljósmælinum og setti í kík, til merkra mælinga á útgeislun sólar (sjá Hellerich 1937, bls. 638-639) og á gleypingu ljóss bæði í ystu lögum hennar og í andrúmslofti jarðar (Müller 1882). Hann mældi einnig útgeislun nokkurra stjarna við mismunandi bylgjulengdir (H.C. Vogel 1880).

Meðal vísindamanna sem voru byrjaðir um aldamótin 1900 að skipta björtum stjörnum í nokkra flokka eftir hækkandi hitastigi, var Lockyer (1904). Fékk hann smíðaða fyrir sig litrófs-myndavél með tvístursprisma úr kalkspati og kvars-linsum til þess að geta metið útfjólubláa geislun þeirra. Harkányi (1902) benti á að út frá lögum um útgeislun heitra hluta mætti nýta gögn H.C. Vogels (1880) til að meta hitastig stjarna. Gerði hann það sjálfur fyrir nokkrar stjörnur auk sólarinnar. Nordmann (1909b) gaf síðan upp tölur um hitastigið fyrir 14 fastastjörnur, úr athugunum með litsíu-ljósmæli sínum sem nefndur var í næstsíðustu málsgrein. Wilsing og Scheiner (1910) notuðu svo litrófs-ljósmæli með Nicol-prismum til að áætla hitastig 109 stjarna með hliðsjón af svarthlutargeislun, og bættu a.m.k. jafnmörgum við á árunum fram til 1920 (sjá Handbuch der Physik 19, bls. 185-187, 1928). Hitastigs-tölurnar sem þannig fengust, reyndust þó síðar vera yfirleitt nokkuð of háar vegna þess hve stjörnur eru frábrugðnar því að vera svarthlutir. Baillaud (1924) kannaði síðar litróf nokkurra stjarna niður í 350 nm bylgjulengd með stóru tvístursprisma úr silfurbergi, og Graff (1931) gerði umfangsmiklar athuganir á lit stjarna með Nicol-prismum og lituðum glerfleygum, en óvíst er hvort unnið var úr þeim gögnum.

Reikistjörnurnar og tunglið urðu ekki útundan í ljósmælingum með silfurbergsprismum, allt frá brautryðjandastarfi Zöllners (1868). H.C. Vogel (1880) mældi styrk endurkastaða ljóssins frá tunglinu með áðurnefndum litrófs-ljósmæli sínum, og Landerer (1889) og síðar Barabascheff (1927) könnuðu skautun þess með aðlagaðri útgáfu af mæli Cornus (1882). Báru þeir niðurstöður saman við ljós endurkastað frá ýmsum bergtegundum og jarðvegi. G. Müller, Pickering, Landerer og fleiri mældu ljósið frá plánetunum ítarlega, og meira að segja voru gerðar mælingar á sumum fylgihnöttum (t.d. Guthnick 1910) og smástirnum sólkerfisins með Zöllner- og Pickering-mælum. Rosenberg (1921) hannaði tæki sem hann nefndi „flatar-ljósmæli“ (*Mynd 29-10*), með Nicol-prismum eins og í Zöllner-tækinu, til að skoða m.a. mismunandi endurkast ljóss frá ýmsum svæðum á tunglinu. Enn eitt tæki skylt Zöllner-mælunum var smíðað af E. Schönberg til svipaðs brúks um 1917 (sjá Hellerich 1937 og *Mynd 29-10*). Wilsing og Scheiner (1909, 1921) mældu ljósendarvarp frá tunglinu, reikistjörnum og bergi með litrófs-ljósmæli, líklega með Nicol-prismum.

29.7 Silfurbergsprismu í rannsóknum á litum og sjón

Eitt mikilvægt vandamál í ljósmælingum varðaði samanburð á styrk tveggja ljósgjafa sem ekki höfðu sama lit. Ljósmælar með Nicol-prismum gátu ráðið við þetta vandamál að einhverju leyti, ef í þá var bætt kvarsplötum (t.d. Zöllner 1868, Zahn 1874, Crova 1881), og það sama var gert með litmælana sem nefndir voru í síðasta kafla (Pellin 1899; Meisling og Oerum 1904 tilv. af Arons 1910). Þarna komu við sögu þynnu-litirnir sem Arago uppgötvaði 1811.

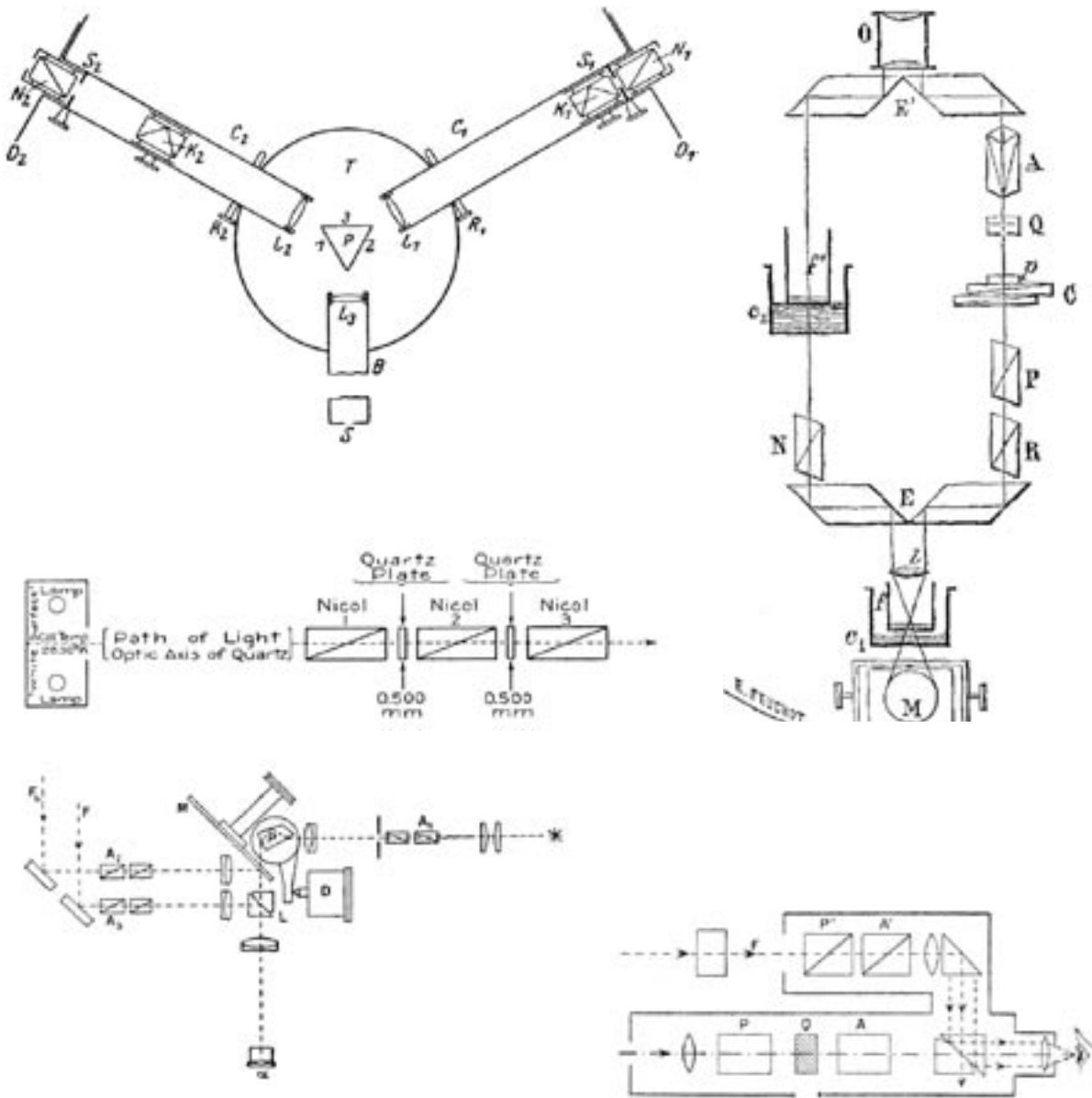
Með því að setja mis-þykkar þynnur úr kvasi eða glimmer milli tveggja Nicol-prisma mátti á auðveldan hátt búa til ljós með nánast hvaða litasamsetningu sem var. Sömuleiðis mátti þannig búa til þör lita sem samanlagt gefa hvítt (complementary colours). Ítarlegar tilraunir á þessu voru gerðar af Brücke (1848, 1866). Það kom að gagni í athugunum á litaskynjun með skautuðu ljósi sem nefndar voru í kafla 13.2, og sem var m.a. haldið áfram af E. Rose (1865) í litblindurannsóknum. Vinur Brückes, H. v. Helmholtz, endurvakti á sjötta áratug aldarinnar gleymda kenningu Th. Youngs um þrennskona litaskynjara mannsaugans: eru það keilufrumur í nethimnunni sem eru næmar fyrir ljósi á mismunandi þörtum af litrófinu. Næstu greinar um athuganir á litasjón með hjálp Nicol-prisma sem ég hef séð, eru eftir Ditscheiner (1871), Dobrowolsky (1872), Spottiswoode (1874), Glan (1881), og Rayleigh (1881b) í framhaldi af tilraunum á þessu sviði sem J.C. Maxwell hafði framkvæmt fyrir 1860 með glerprismum. Í verðlista Cambridge Scientific Instrument Co. um „Physical Instruments“ frá 1906 er auglýst tæki með Nicol-prismum (líklega afbrigði af litrófs-ljósmæli Glazebrooks) og kvarsplötu, sem megi meðal annars nota til prófunar á litblindu samkvæmt aðferð Rayleighs.

Síðar komu frekari útfærslur tækja með Nicol-prismum og kristalþynnum: leukoskop (König 1882) og chromoskop (Arons 1910, 1912, *Mynd 29-14*), sem margir notuðu við rannsóknir á ljós- og litaskynjun mannsins (s.s. König 1897, Brodhun 1888, Schuster 1890, Hering 1890, Brücke 1887 tilv. af Arons 1910, Exner 1902, Lummer 1905, Priest 1920).

v. Helmholtz fann upp sjónprófunartæki um eða fyrir 1878, þar sem mátti með Nicol-prismum og öðrum íhlutum breyta að vild lit og styrk tveggja mismunandi ljósgeisla sem skoðaðir voru samtímis (*Mynd 29-14*). Eintak af endurbættri gerð þess var smíðað á verkstæði Schmidt og Haensch (1893) og fært höfundinum í sjötugsafmælisgjöf frá samtökum þýskra tækjasmíða. König og Dieterici (1893) sem lýsa þessu sjónprófunartæki, gerðu umfangsmiklar rannsóknir á næmni augans fyrir litum. Sem dæmi um frekari notkun þess má nefna greinar eftir Tonn (1894) varðandi litablöndun, Allen (1902) og Hecht og Shlaer (1936) um sjón litblinds fólks, og Kohlrausch (1923) um næmni fyrir birtumun. Young-Helmholtz kenningin um litaskynjun hafði alla tíð mikil áhrif og mun að miklu leyti enn standast tímans tönn. Þó vilja menn bæta við hana ýmsu úr kenningu ofangreinds Herings varðandi það hvernig heilinn vinnur úr boðum frá litaskynjurum augans.

Önnur hagnýting litblöndunar-búnaðar með Nicol-prismum og kvarsplötum var fjölþætt, svo sem: samanburður á ljósi frá ýmsum tegundum lampa (König 1882), val á litum t.d. fyrir framleiðslu vefnaðarvöru eða skrautmuna (Borchardt 1913), þróun litasía fyrir prent- og ljósmyndaiðnað (Jones 1914), og eftirlíkingu á dagsljósi (Priest 1918). Enn eitt notkunarviðið var mat á hitastigi mjög heitra hluta (sjá Nichols 1879, 1880, Priest 1921, *Mynd 29-14*, Skinner 1923). Mæli-kíkir af þeirri gerð fyrir bræðslu- og brennsluofna var framleiddur af fyrirtæki Ducretets (1889) í áratugi (t.d. Struers 1925) en Burgess og Le Chatelier (1912, bls. 348-350) segja hann mjög ónákvæman.

Bernard (1856) og Wild (1876) notuðu afbrigði af skautunar-ljóstækjum sínum til að setja saman lit er líktist himinblámanum, en Arago (*Mynd 13-2*) og Biot voru raunar byrjaðir á svipuðum athugunum með frumstæðari búnaði 1817 (Mascart 1893, bls. 378-380). Pellin (1899)



Mynd 29-14. Tæki til athugana á litum, lýsingu og sjón. Þau voru með 2-6 Nicol-prisum og oft kvarsþynnum. Efst t.v.: Litablöndunartæki H. v. Helmholtz frá um 1878 til sjónprófana á einstaklingi sem horfir í gatið S. Tækið var endurbætt af A. König (Schmidt og Haensch 1893), myndin er úr kafla hans í Wien-Harms (1928). Í miðri t.v.: Skýringarmynd af tæki Priests (1921) til að skoða litrófsdreifingu rafljósa. Neðst t.v.: Tæki framleitt af A. Hilger til mælinga á litum yfirborða, byggt á Nutting (1913). Mynd úr Fleury (1930). Að ofan t.h.: Tæki Andrieus (1886) til að meta á magnbundinn hátt lit hverskyns vökva. Að neðan t.h.: Chromoskop Arons (1910, 1912) þar sem athugandinn hægra megin getur búið sér til hvaða bland-lit sem er úr hvítu ljósi. Úr Fleury (1930).

auglýsir tæki nefnt chromatometre uppfundið af L. Andrieu (1886, *Mynd 29-14*), einkum ætlað til nákvæmra athugana á iðnaðar-litunarefnum á vökvaformi en einnig brúklegt til að skrá lit matvæla-litarefna, víns, þvags, blóðs o.fl. Weinschenk (1925, bls. 92-94) og Rosenbusch (1924, bls. 592-593) lýsa chromoskopí til nota við skoðun á þunnisneiðum bergs. W. Ostwald lýsti á árinu 1919 litablöndunartæki sem hann nefndi Pomi (=Polarisationsfarbenmischapparat) með Nicol- og Wollaston-prismum, í tengslum við hugmyndir um lita-fræði, sem hann og aðrir birtu margt um á árabílinu frá um 1916 og fram yfir 1930. Skissa af tækinu er í Handbuch der Physik 19, bls. 683, 1928. Þessar hugmyndir Ostwalds voru umdeildar (t.d. Kohlrausch 1920) en höfðu talsverð áhrif á stöðlun lita fyrir iðnað og verslun (sjá D.S.B., Supplement I, Pulfrich 1925 og Weigert 1927, bls. 276-277).

Í ofantöldum tækjum voru notaðar plötur (oftast úr kvasi) þar sem ljósásinn lá í plani plötunnar, en einnig mátti gera sitthvað við litrófið með kvarsplötum þar sem ljósið fór samsíða ljósásnum. Mascart (1874, bls. 396) var þannig að vinna með gult natriumljós sem samanstendur af tveim litrófslínum með mjög svipaða bylgjulengd, og þurfti hann að losna alveg við aðra þeirra. Fann Mascart snjalla aðferð til þess með því að senda ljósið gegnum 3,2 cm þykkt kvars milli tveggja Nicol-prisma: þá hafði sveiflustefna annarrar línunnar snúist 90° meira en hin. Fabry og Perot (1900) notuðu sömu tækni við athugun á því hvort þessar litrófslínur natriums væru einfaldar eða samsettar, svo og Voss (1918) við að mæla hlutfallslegan ljósstyrk í þeim og Wood og Dunoyer (1914) við rannsókn á svonefndri hermigeislun frumefna.

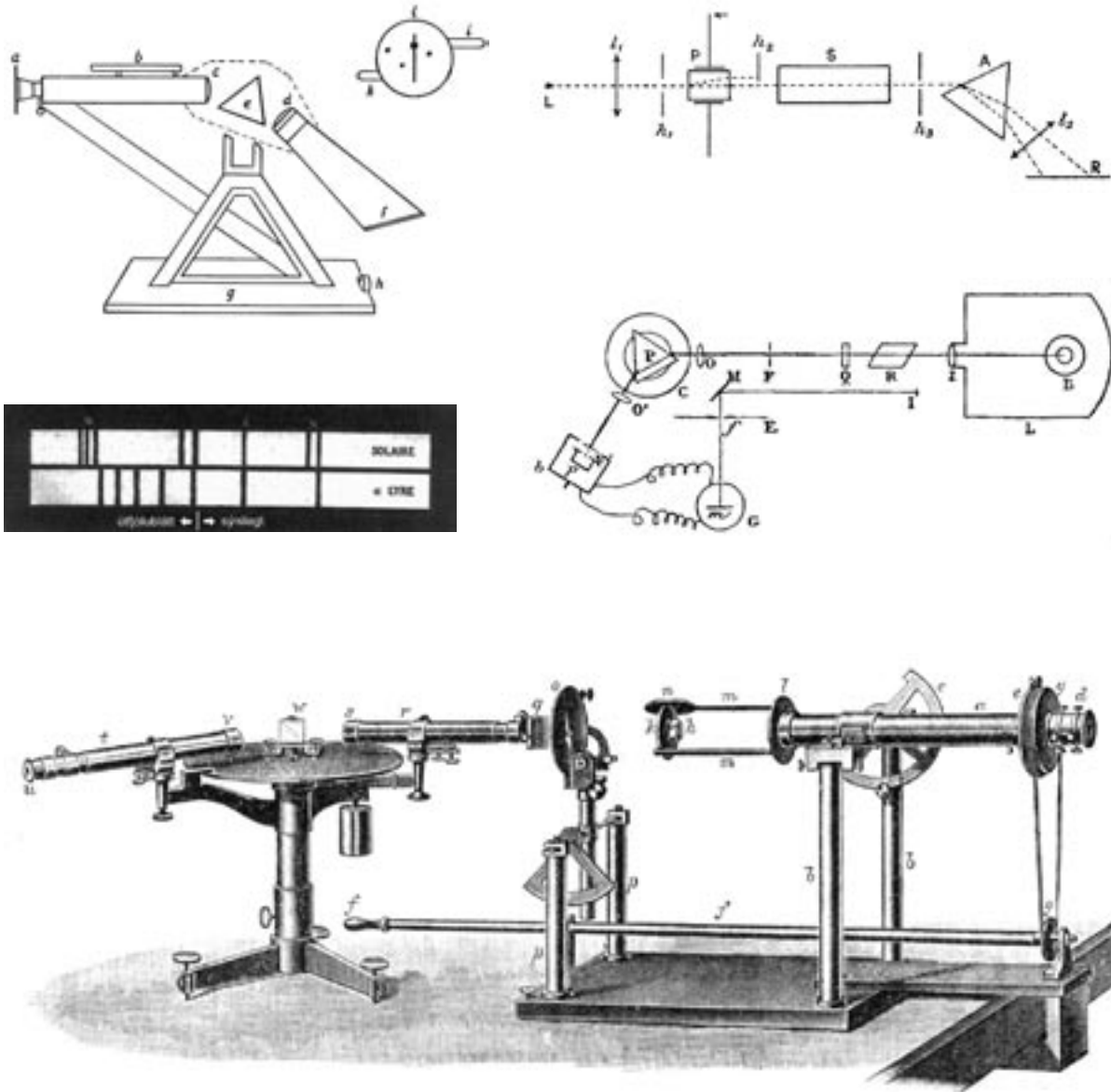
Nutting (1913) lýsir mælibúnaði fyrir liti og ljósmagn frá flötum, sem þróaður var við staðlastofnun Bandaríkjanna og síðar seldur af fyrirtæki A. Hilgers. Í honum voru ekki kvarsþynnur eins og þeim öðrum tækjum sem nefnd hafa verið hér, en ein 4 eða 6 Nicol-prismu voru notuð þar til að deyfja mismunandi ljósgeisla (*Mynd 29-14*, sjá Fleury 1930).

Venjulegir litrófs-ljósælar eins og Glan- og König-Martens tækin komu einnig að gagni við að kanna næmni augans fyrir litum, einir eða ásamt öðrum tækjum (Bohn 1874, Trannin 1876, Kohlrausch 1920). Bezold (1876) og König og Brodhun (1888) gerðu grundvallarrannsóknir á næmni augans fyrir breytingum á ljósstyrk, með hjálp Nicol-prisma og silfurbergskubbs. Með sýningartækjum Duboscqs, Machs, Cheshires og Govis fyrir skautað ljós sem nefnd voru aftarlega í kafla 22.4, mátti kanna ýmis atriði varðandi ljósskynjun eins og það hve lengi mynd helst á sjónhimnunni. W. Abney notaði tveggja geisla prisma úr silfurbergi í hluta (Abney og Festing 1888) af umfangsmiklum rannsóknum sínum á ljósi og litasjón, og sömuleiðis t.d. Hering (1905) og Houstoun (1918). Hecht og Williams (1922) og fleiri deyfðu ljósgeisla með Nicol-prismum við könnun á næmni augans fyrir mismunandi litum.

Að síðustu má nefna, að augnskoðunartæki (ophthalmoscopes eða -meters) sem byggðu á tvöföldu ljósbroti í silfurbergs- eða kvarsprismum voru fundin upp. Eitt slíkt með Wollaston-prisma úr kvasi (Javal og Schiötz 1881) þótti umtalsverð framför í athugunum á sjónskekkju, eins og fram kemur af auglýsingum um svipuð tæki og einkaleyfaumsóknum á næstu áratugum. Sjá einnig grein Salomonsons (1921) um tæki með Nicol-prismum, og ekki síst rit Koeppes (1921, o.fl.) sem notaði í þessu skyni skautað ljós frá lampa uppfundnum af A. Gullstrand (sjá Viðauka 5). Gullstrand (1906) gerði einnig athuganir á augum með hjálp Nicol-prisma.

29.8 Rannsóknir á útfjólublárrí geislun

Dofnun útfjólubláss ljóss er mun minni í kvasi, flússpati og silfurbergi en í gleri. Lowry (1935, bls. 213) segir 4 cm þykkt silfurbergsprisma hleypa í gegn geislun allt að 240 nm bylgjulengd, þynnri plötur mátti nota niður að 220 nm eða svo (Liveing og Dewar 1882, o.fl.). Í



Mynd 29-15. Rannsóknir á útfjólubláu og innrauðu ljósi, fyrir 1900. Að ofan t.v.: Litrófsgreinir Huggins (1880a) fyrir útfjólublátt ljós frá ungum stjörnum, með kvarslinsum. Ljósið kemur gegnum rifu í a vinstra megin, tvístrast í prismanu e úr silfurbergi, og fellur á ljósmyndaplötuna f. Mynd úr King (1955), ásamt litrófum. Efst t.h.: Uppsetning tækja Joubins (1889) fyrir Faraday-hrif í vökvum S í útfjólubláu ljósi. P og A eru úr silfurbergi, R er ljósmyndaplata. Mynd úr Lowry (1935). Neðar: Tilraun Carvallos (1892) fyrir snúningstvístur í innrauðu ljósi, með silfurbergsprismum P og R. Geislunin er mæld með rafrænum búnaði t.v. að neðan. Neðst: Búnaður Sorets og Sarasins (1882) við mælingar á snúningstvístri í kvarki á útfjólubláa sviðinu. Mynd úr Tutton (1922) sem segir prismað w oft hafa verið úr silfurbergi í tilraunum þeirra.

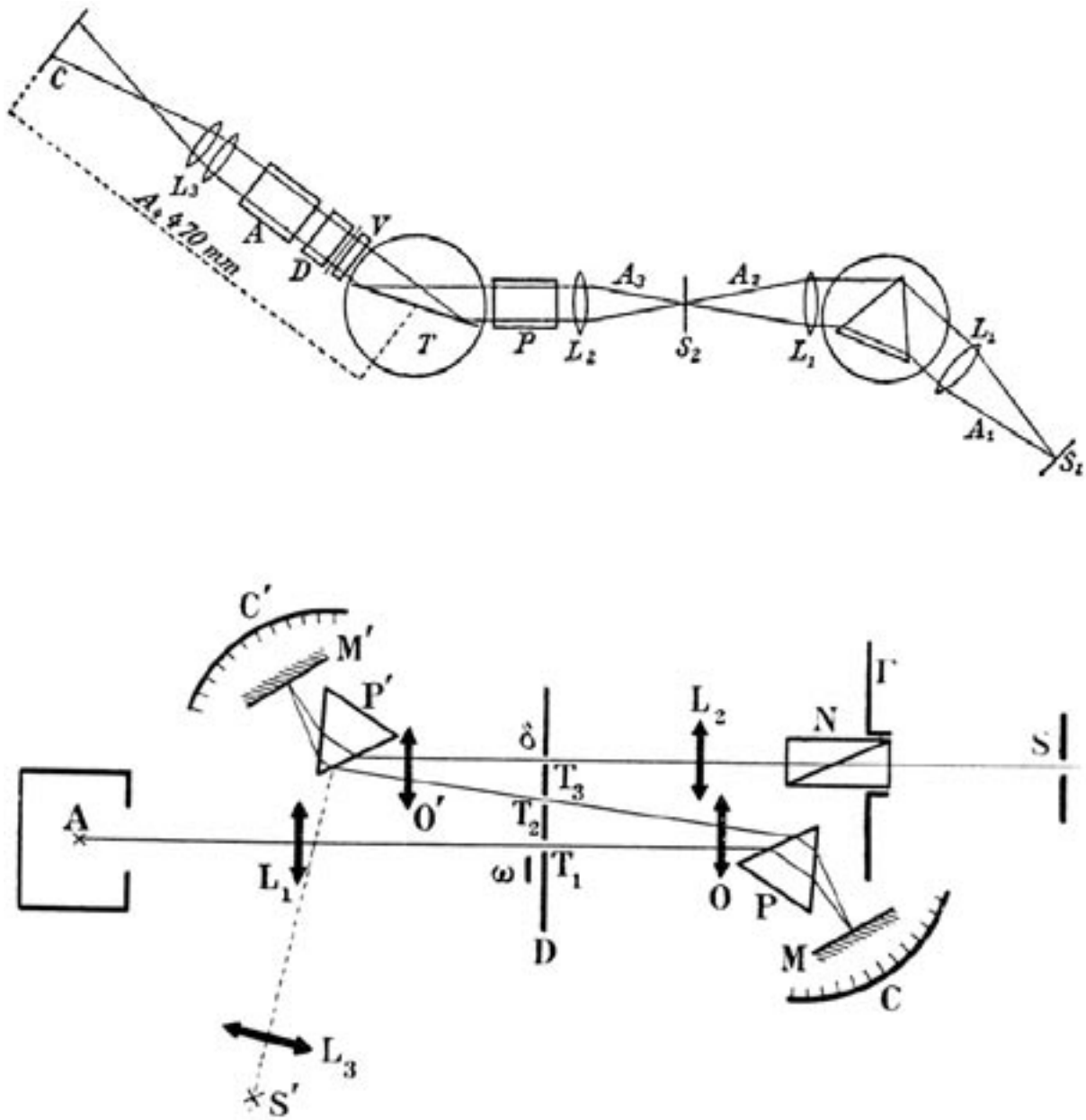
gegnum prismu úr kvasi komst geislun niður að 180-200 nm, en úr þungu gleri (Flintglas) ekki styttri bylgjur en 390 nm og úr léttara gleri (Kronglas) varla styttri en 360 nm (Handbuch der Physik 19, 1928, bls. 852; Houstoun 1927). Var því silfurberg notað í stað glers í tvísturs-prismu fyrir sum ljóstæki á útfjólubláa sviði litrófsins á ofanverðri 19. öldinni og fram yfir aldamótin. Einna fyrsta tilvikið var við mælingar E. Mascarts (1864) á bylgjulengdum geislunar frá sólinni. Hann mældi í leiðinni brotstuðul venjulega geislans í því eins og fram kom í kafla 21.2, niður að 320 nm. Valdi hann silfurbergið til að tvístra ljósinu vegna þess að „la grande dispersion du spectre ordinaire permet de distinguer un nombre des raies beaucoup plus considérable“ miðað við kvars. Mascart mældi einnig útfjólublátt línulitróf frá heitri kadmiumgufu um 1867 (sbr. Mascart 1869, Soret 1878). Tækjasmíðir auglýstu nokkuð að þeir hefðu 60°-silfurbergsprismu til sölu, m.a. Adam Hilger í tímaritinu The Observatory kringum 1880 sbr. fremst í kafla 25.

A. Cornu sem áður hefur verið nefndur, hóf m.a. að rannsaka útfjólubláa geislun sólarinnar upp úr 1870 (Cornu 1874b og síðar). Hann útbjó til þess litrófssjá (spectroscope) með 60° prisma úr silfurbergi og linsum samsettum úr silfurbergi og kvasi (Cornu 1879). Segir hann slíkt prisma geta aðgreint nálægar litrófslínur betur en þær ljósgreiður sem þá voru fáanlegar. Fleiri unnu að rannsóknum á útfjólubláari geislun með silfurbergsprismum kringum 1880: má nefna Monckhoven (1877) sem kannaði útgeislun lofttegunda, Schön (1880) sem skoðaði útgeislun frá málum og gleypingu ljóssins í margskonar efnum, og Hartley (1882) sem mældi útfjólublá litróf frá gufum 24 málma. Hartley notaði þó líklega oftast kvarsprismu.

W. Huggins sem hafði unnið frá því um 1860 við rannsóknir á litrófum sýnilegs ljóss frá m.a. fasta- og reikistjörnum, stjörnuþokum og halastjörnum, hafði einnig áhuga á að teygja þær inn á útfjólubláa sviðið. Þetta tókst með nýju vönduðu tæki með kvarslinsum (Huggins 1877, 1880a) þar sem 60° prisma úr silfurbergi tvístraði ljósinu úr spegilkíki á ljósmyndapappír (*Mynd 29-15*). Ljósmyndunar-tækni var einmitt að stórbatna almennt um 1880. Síðar útbjó Huggins annað tæki með tveim slíkum prismum hvoru á eftir öðru, til að greina litrófslínurnar enn betur í sundur. Kannaði hann mikinn fjölda stjarna á þennan hátt fram yfir miðjan tíunda áratuginn (t.d. Huggins 1895, frétt í The Times 7. júní það ár, og minningargrein í Proc. Royal Soc. A86, 1912). Birtust nokkur þeirra litrófa í yfirlitsriti Huggins og Huggins (1899) um stjörnulitróf. Af umsögn G.E. Hales um það rit (í Astrophys. J. 12, 1900) má ráða að rannsóknir Huggins mörkuðu stóran áfanga í allri umfjöllun um skiptingu stjarna í flokka, eðli þeirra, uppruna og þróun með aldri. Sama segja síðari heimildir, svo sem bók Kings (1955, 14. kafli). Að auki kannaði Huggins m.a.útfjólublátt litróf stjörnuþokunnar í Orion með silfurbergsprisma.

Nú kemur að einni merkustu uppgötvun Huggins (1880a) með prismum sínum. Þannig stóð á, að þekktar voru fjórar litrófslínur vetnis á sýnilega sviðinu, og bylgjulengdir þeirra virtust hugsanlega hlíta einhverri reglubundinni formúlu. Hafði N. Lockyer svo fundið fimmtu línuna í tilraun sem hann birti smágrein um 1880; hún var við 397 nm á mörkum sýnilega og útfjólubláa sviðsins, og féll saman við sterka línu kalsíums í litrófi sólar. J. Balmer sem var að reyna að finna formúlu fyrir vetnislínunum, vissi upphaflega ekki af niðurstöðu Lockyers, en frétti svo að H.W. Vogel (1879, 1880) hafi fundið þá línu og fjórar aðrar útfjólubláar í litrófi vetnis í rannsóknastofu (með glerprismum), auk þess sem þær væru mjög áberandi í litrófum Huggins frá hvítum stjörnum (*Mynd 29-15*). Setti Balmer (1885) fram einfalda og álitlega formúlu fyrir öllum þessum bylgjulengdum, nefnilega að þær væru $h \cdot m^2 / (m^2 - 4)$ þar sem h var um 364,5 nanometrar og m var 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 og 11. Í viðauka við grein sína segir Balmer (1885) sér hafa verið bent á að Huggins hafi raunar séð fimm línur í viðbót í stjörnunum, og komu bylgjulengdir þeirra einnig nákvæmlega heim við formúluna með $m = 12$ til 16.

Huggins (1880b) og Liveing og Dewar (1882, 1889) könnuðu útfjólublátt róf mjög heits vatnseims með silfurbergsprismum, þeir síðarnefndu einnig útgeislunar- og gleypiróf margra málma, eðalgasa, kolefnis og sambanda þess o.fl. með endurkasts-ljósgreiðum og silfurbergi.



Mynd 29-16. Mælitækni fyrir útfjólublátt ljós, eftir 1900. Efri mynd: Mælingar Minors (1902) á ljóseiginleikum málma. Línulega skautað ljós úr Nicol-prismanu P fellur á fægða málmplötu á snúanlega pallinum T , og skautunarástand þess eftir endurkastið er greint m.a. með Nicol-prismanu A . Neðri mynd: Uppsetning Bruhats og Pautheniers (1927) á tækjum til að framleiða útfjólublátt ljós á þröngu bylgjulengda-bili (monochromateur). A er kvikasilfurslampi, P , P' eru tvístursprismu úr kvasi eða silfurbergi, L_1 , L_2 eru linsur samsettar úr silfurbergi og kvasi, og N er Nicol-prisma. Einlita útfjólubláa ljósið er svo notað í tilraunum hægra megin við S .

Af ljósmyndum sínum og mælingum sáu þeir allt frá því 1879 (t.d. Liveing og Dewar 1883) að skipta mátti rófum frumefna upp í syrpur lína með mismunandi útliti („sharp“ og „diffuse“). Einnig tóku þeir eftir reglubundnum mynstrum í bylgjulengdum ýmissa sýnilegra og útfjólublárra lína m.a. frá alkalímálmum og magnesíum, sem voru hliðstæð við Balmermynstrið í vetni. Fyrirnefndur A. Cornu sem var einmitt þá að rannsaka útfjólubláa geislun frá málmgufum í rannsóknastofu með silfurbergsprismum sínum, prófaði af þessu tilefni að skoða útfjólubláa rófið frá vetni og tókst að staðfesta tilvist nær allra þeirra útfjólubláu lína sem Huggins hafði séð (Cornu 1886). Notaði hann þar ljósgreiðu, en nefnir ekki silfurberg. Zenger (1889) lýsti endurbótum á tækni Cornus.

H. Deslandres (1888 o.fl.) hélt áfram athugunum Cornus með búnaði hans frá um 1885, m.a. á litrófum lofttegunda í rannsóknastofu og notaði þá talsvert silfurbergsprismu. Þar varð hann fyrstur til að kanna marga af eiginleikum svonefndra band-litrófa efnasambanda: þau litróf stafa einkum af breytingum á snúningi sameindanna, innri sveiflum í þeim, og tilfærslu rafeinda. Hann (Deslandres 1886) fann m.a. mjög reglubundið mynstur í band-litrófi köfnunarefnis, ekki síst í útfjólubláu ljósi. Deslandres gerði frekari mikilvægar uppgötvanir varðandi litróf sameinda á löngu árabili eftir 1888, en var þá farinn að nota við það ljósgreiður í stað silfurbergs- og glerprisma. Hann rannsakaði einnig kórónu sólarinnar, lithvolf hennar og gos-fyrirbrigði. Tókst honum, G.E. Hale, N. Lockyer og öðrum að staðfesta tilvist útfjólubláu vetnislínanna frá Huggins í litrófum þaðan á árunum frá 1892 til 1900, bæði við sólmyrkva og á öðrum tímum. Var þá ekki verra að hafa formúlu Balmers til að þekkja þær línur í kraðaki annarra. Deslandres (m.a. 1893) og fleiri (t.d. Copeland 1900) notuðu stundum ljóstæki með silfurbergsprismum eða -linsum við þessar sólrannsóknir, en þó einkum annan búnað með ýmsum nýjungum.

Fram undir 1880 höfðu ýmsir reynt að finna formúlu-tilgátur eða eðlisfræðilegar skýringar fyrir þeim mörgu litrófslínum sem frumefni gáfu frá sér: stundum virtust bylgjulengdirnar hafa einhverja reglu en yfirleitt þó ekki. Oftast var þá gengið út frá að um grunn- og yfirtóna einhverra sveiflukerfa væri að ræða. H. Kayser og C. Runge (1888) segja að „...diese Versuche sind ... entschieden fehlgeschlagen“ og hafi legið í láginni í nokkur ár, uns grein Balmers (1885) „die Frage wieder in Fluss brachte“. Benti einnig Cornu það ár á nánar hliðstæður milli tiltekinnna atriða í útfjólubláu rófum vetnis, áls og thallíums. King (1955, bls. 293) og fleiri heimildir ítreka, að þessar athuganir Huggins, Hartleys, Liveings og Dewars, og Cornus og Deslandres hafi átt þátt í að leggja grunninn að víðtækum rannsóknum annarra á litrófum. Er þar einkum átt við Kayser og Runge (1888 og síðar) sem ákváðu að gera mjög nákvæma kortlagningu á litrófslínum fjölmargra frumefna með nýjustu ljósgreiðum og ljósmyndataekni. Fundust ný vensl milli bylgjulengda þeirra, bæði innan hvers efnis og milli efna (t.d. Runge 1888), og voru útfjólubláu gögnin þá ómissandi því að skipting litrófanna í syrpur sást þar skýrast. Venslunum mátti lýsa með einföldum en nákvæmum jöfnum svipuðum formúlu Balmers. Sömuleiðis benti Rydberg (1890) á aðrar einfaldar reglur varðandi línusyrpur í litrófum Liveings og Dewars, einkum þá að samanlagðar tíðnir tveggja lína sama efnis voru gjarna jafnar tíðni þriðju línunnar. Önnur regla var sú að mismunur tíðna tveggja litrófslína efnis var stundum alveg jafn mismun tíðna annars línupars þess.

Þessar rannsóknir á litrófum skiptu verulegu máli í þróun nútíma eðlisfræði. Reglur Rydbergs um samanlögðu tíðnirnar og mismunatíðnirnar urðu auðskýrðar út frá skömmtuðum orkustigum frumeindalíkans N. Bohrs (1913) og þeirri niðurstöðu A. Einsteins (1905a), að orka ljósgeislaskammts væri í hlutfalli við tíðni hans. Kayser og Runge fundu brátt fleiri dæmi um reglur Rydbergs, og aðrir útfærðu þær frekar (svo sem W. Ritz á árunum 1903-09). Formúla Balmers (1885) um vetnislitrófið sem áður var nefnd, er einn af hornsteinum kenningar Bohrs: þegar mældar höfðu verið alls 33 línur þess litrófs í ljósi frá stjörnum, segir Bohr (1913) að

„The agreement between the theoretical and observed values is inside the uncertainty due to experimental errors...“.

Cornu (t.d. 1878) tók eftir því að litrófin frá sólinni og stjörnum hurfu alveg við bylgjulengdir styttri en 290-300 nm, og gekk brátt úr skugga um að lofthjúpur jarðar gleypri þær. Hartley (1881), Cornu (1884), og Huggins (1889, mælingar með silfurbergsprisma) rökstuddu að óson gæti átt þarna verulegan hlut að máli, og fékkst það staðfest síðar, sjá kafla 36.7. Huggins og Huggins (1890) fundu úr athugunum sínum á stjörnu-ljósi, að óson gleypri einnig eitthvað af ljósi á bilinu 320-334 nm.

Ýmsir aðrir sem voru að rannsaka útfjólublátt ljós allt frá 1874 eða fyrr, notuðu ljósgreiður eingöngu til rófgreiningar þess fremur en prismu. Greiðurnar ásamt prismum og linsum úr kvasi og flússpati tóku svo smátt og smátt alveg við hlutverki silfurbergsins á þessum vettvangi, meðal annars í hinum mjög umfangsmiklu rannsóknum Kaysers og Runges sem nefndar voru. Eftirspurn var þó eftir tvísturlausum (achromatic) linsum samsettum úr kvasi og kalkspati til eðlisfræði- og stjarnfræðirannsókna á útfjólubláu ljósi a.m.k. til aldamótanna 1900 (sjá t.d. Nature 56, bls. 34, 1897 og J.W. Gifford í British Assoc. Report 1900, bls. 630-631), þótt V. Schumann hafi 1893 (tilvitnað í Leiss 1899b, bls. 63) sagt þær ekki hafa neina kosti fram yfir linsur úr kvasi eingöngu. Um 1905 komu á markað nýjar glertegundir (Uviolglas) sem hleyptu bylgjulengdum allt að 300 nm í gegn, en einstöku vísindamenn héldu sig við kvars-kalkspat linsur enn um sinn, svo sem Lowry og Vernon (1928) í rannsóknum á optiskri virkni tartrata. Eitthvað var prófað að nýta linsur úr hreinu kalkspati á útfjólubláa sviðinu í stað Nicol-prisma, til að minnka ljóstap við gleypni og endurkast (sjá í Schulz 1925, og kafla 33.2). Silfurbergs- og/eða kvarsprismu voru að auki notuð til að tvístra rófi útfjólublás ljóss vegna rannsókna á brotstuðlum, útgeislun og gleypingu annarra efna. Ph. Pellin auglýsir slík prismu í kynningarriti samtaka franskra tækjasmiða 1901-02, en í grein 1911 segja H. Buisson og Ch. Fabry þau vera orðin sjaldséð. Auk vísindamanna sem þegar hafa verið nefndir, notuðu þau m.a. Chardonnet (1881), Schaik (1882), Hartley (1883), Joubin (1889, *Mynd 29-15*), Schunck (1901), Gramont (1909, litróf málma), og Bruhat og Pauthenier (1927, *Mynd 29-16*).

Nicol-prismu dugðu einnig á útfjólubláa sviðinu, einkum við rannsóknir á snúningstvístri. Til þess voru notuð afbrigði sem höfðu bara loft-bil í stað líms, oft kennd við Foucault (1857) eða Glan (1880). Það er vegna þess að límefnin byrja fljótt að gleypa ljósið, trjákvöða til dæmis við bylgjulengdir styttri en um 340 eða 320 nm (Cabannes 1921) meðan silfurbergið er nothæft niður undir 220 nm eins og fram kom fyrr í kaflanum. Sjá um rannsóknir af þessu tagi til dæmis hjá Soret (1878), Soret og Sarasin (1875 og síðar, *Mynd 29-15*), Guye (1889), Joubin (1889), Gumlich (1898), Lowry (1908), Descamps (1926), og Bruhat og Pauthenier (1927). Meðal þeirra sem héldu áfram rannsóknum Cottons (úr kafla 22.3) á snúningstvístrinu var Darmois (1911) sem skoðaði það í kamfóru, pinen og fleiri efnum með litrófssjá fyrir útfjólublátt ljós, „tout entier en spath“. Það varð síðar mjög gagnlegt við könnun á byggingu stærri lífrænna sameinda (sjá Darmois 1922), meðal annars próteina og kjarnsýra eftir 1930.

Við rannsóknirnar á útfjólubláu ljósi um og eftir 1900 notuðu menn nýja öfluga ljósgjafa s.s. kvikasilfurslampa, úr kvasi (Küch og Retchinsky 1906) eða uviol-glerinu sem nefnt var hér að ofan. Nýjar aðferðir við greiningu skautunar útfjólublás ljóss komu einnig fram, t.d. ein sem Voigt (1901) stakk upp á. Henni var beitt af Minor (1902, *Mynd 29-16*), Nutting (1903a) og síðar fleirum við að skoða endurkast frá flötum ýmissa efna. Sjá nánar í kafla 36.9.

Hér má einnig nefna, að stundum var gripið til silfurbergsins í rannsóknum á innrauða sviðinu. Þannig kveðst Mouton (1877, 1879) hafa notað silfurbergsprisma við rannsókn á endurkasti varmageislunar frá málmspeglum, og síðar tvö „énormes nicols de 5 cm ouverture“ við ákvörðun á bylgjulengdum hennar með aðferð Fizeaus og Foucaults (1847). Javal (1905) tvístraði innrauðu ljósi með „prisme de spath“ við mælingu á geislun gegnum málmpynnur.

Ingersoll (1906, 1910) notaði tveggja geisla prisma úr kalkspati við mælingar á Faraday-hrifum innrauðs ljóss í vatni og endurkasti ljóss frá málmflötum. Á árinu 1906 var bent á, að speglun frá selen-fleti gæfi betri raun en silfurbergið við framleiðslu á skautuðu innrauðu ljósi, og var sú tækni nýtt m.a. af Nyswander (1909) og Schaefer og Schubert (1916). Silfurbergið var samt notað eitthvað áfram í rannsóknum þar sem þörf var á geislun með tilteknar vel þekktar bylgjulengdir („Reststrahlen“-aðferð, sjá kafla 34.2), til dæmis af Czerny (1924) og Krebs (1927). Lowry (1935, bls. 230-232) nefnir þríhyrnd silfurbergsprismu í sambandi við rannsóknir á optiskri virkni í kvarsi upp fyrir 2000 nm bylgjulengd, sem gerðar voru af Carvallo (1892, *Mynd 29-15*) og stuttu síðar einnig af A. Hussell og af R. Dongier.

29.9 Líffræðirannsóknir o.fl.

Lecher (1917, bls. 290) og Köhler (1926) segja líffræðinga hafa talsvert gagn af skautunarsmásjám við að skoða ýmis líffæri dýra og manna. Einn þessara líffræðinga var H. Ambronn sem fyrir aldamótin rannsakaði svifefni (Kolloide) með þeim. Hann gerði síðan á árunum 1913-19 merkar athuganir á byggingu sellulósa (t.d. Ambronn 1916) þar sem greina þurfti milli hins venjulega tvöfalda ljósbrots af völdum kristöllum og hliðstæðs fyrirbrigðis sem orsakast af lögum korna eða korn-hluta þótt úr einsátta efni séu. Það fyrirbrigði sem var kallað stanga- eða þynnu- ljósbrot eftir aðstæðum, hafði raunar verið nokkuð til umræðu á árunum 1840-60. Rannsóknir á því voru síðan endurvaktar af Wiener (1904) upp úr þeim athugunum hans sem sagt var frá í kafla 28.4.

Tvöfalt ljósbrot í þráðum margra lífrænna efna sem eru mikilvægir í margskonar iðnaði (t.d. ull, baðmull, hampur og silki) stafar af því að þeir eru úr aflöngum sameindum sem liggja að nokkru samsíða. Skautunarsmásjár hafa lengi verið nytsamar við ýmsar rannsóknir á slíkum þráðum (sbr. t.d. Herzog 1909, Harrison 1918, Frey o.fl. 1926, og Hartshorne og Stuart 1950, bls. 439-452) sem og t.d. taugaþráðum úr dýrum. Meðhöndlun sýnis með vissum lituðum efnasamböndum, málmstöllum, jöði o.fl. efnum getur gert þetta tvöfalda ljósbrot mun meira áberandi en ella í skautunarsmásjánum („dichroic“ litun, sjá til dæmis Ambronn 1896, Frey 1925, Ambronn og Frey 1926, bls. 176-185, McGraw-Hill 1992). Um merka hagnýtingu þeirrar tækni verður fjallað í kafla 35.2; einnig tengist hún á seinni árum notkun fljótandi kristalla í skjám rafeindatækja.

Adami og Aschoff (1906) benda á að tvöfalt ljósbrot sé „a very characteristic property“ fyrir myelin, sem eru mikilvæg efni í taugavef. Schmidt (1920, 1924) segir skoðun í skautunarsmásjá vera „wichtige Beihilfe“ við að kanna byggingu lífrænna vefja, og nefnir þar dæmi um bein, tennur, sínar, taugar og vöðvaþræði í æðri dýrum, hár, horn, hreistur, gadda, skeljar skel-, krabba- og skordýra, götungu (foraminifera), kórala, perlur, svampa o.fl. Líffræðingar höfðu hinsvegar lengi (sjá t.d. Ebner 1892) verið óánægðir með smásjárnar á markaðnum, en Zeiss-fyrirtækið útbjó m.a. sérstakan búnað í þær að fyrirsögn lífeðlisfræðingsins Engelmanns (Siedentopf 1902). Schmidt (1925) átti þátt í því að E. Leitz setti á markað sérhannaða skautunarsmásjá fyrir líffræðinga. Hún var að sumu leyti einfaldari en bergfræðismásjár, en m.a. með endurbættu greiniprisma (Tubusanalysator, sjá Ehringhaus 1920) sem gerði hana næmari á fingerð atriði. Ekki er að efa, að hliðstæðar athuganir með þessum smásjám hafi einnig komið að gagni til dæmis við rannsóknir á þeim leifum smásærra lífvera sem oft er mikið af í sjávarsetlögum: þær lífverur gefa til kynna aldur setsins, sem er ekki síst mikilvægt að þekkja við olíuleit.

Í bókarumsögn í tímaritinu *Naturwissenschaften* (12, 745-748, 1924) eru skautunarsmásjár sagðar hafa lengi verið „ein unentbehrliches Hilfsmittel“ í vefja- og meinafræði. Af lauslegri

uppflettingu í tímaritum má sjá að þarna er m.a. vísað til athugana á útfellingum tengdum margvíslegu sjúkdómsástandi, svo sem í meltingarfærum (sjá t.d. Ebstein 1888 og Schmidt 1924 um nýrna- og gallsteina, Panzer 1906 um bólgur), augum, húð, krabbameinsæxlum (White 1909) o.s.frv. Slíkar útfellingar eru einkum „fljótandi kristallar“ með greinilegt tvöfalt ljósbrot s.s. myelin og kolesterol, sjá kafla 27.2 og Adami og Aschoff (1906). Anitschkow og Chalatow (1913) bentu á að ef kaninum væri gefið kolesterol-ríkt fæði, safnaðist kolesterolið fyrir í ýmsum líffærum þar sem mætti sýna fram á tilvist þess m.a. með skautunarsmásjá. Ekki var þeirri uppgötvun fylgt mikið eftir næstu 30-40 árin hvað varðaði kolesterol í fæðu og æðakerfi manna, en hún hefur síðar verið talin mikilvæg.

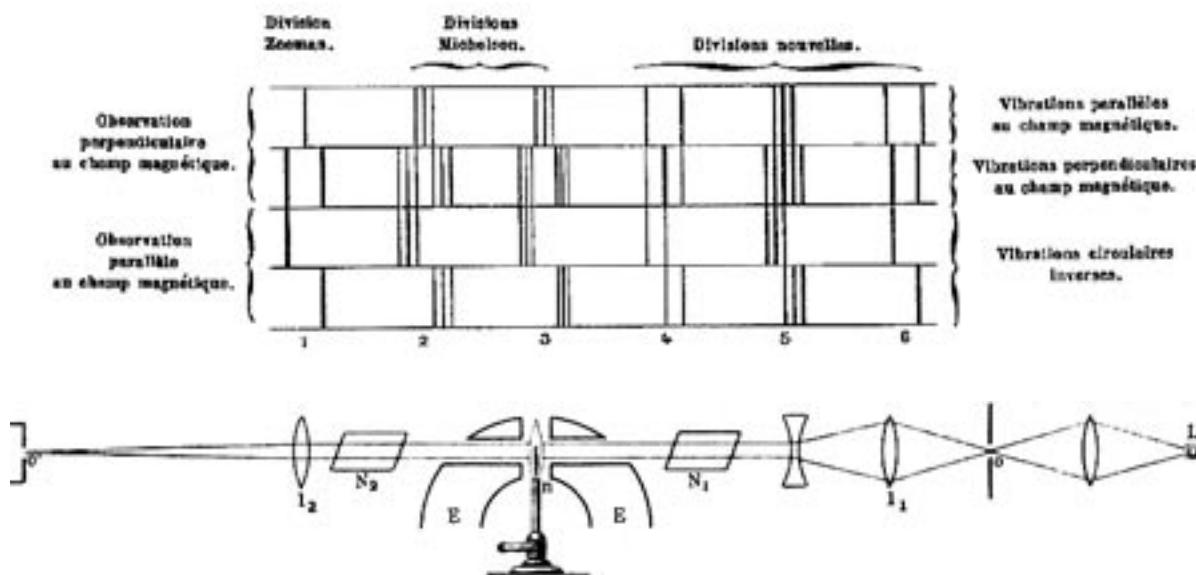
Í ritum frá því snemma á öldinni má finna margháttuð dæmi um að skautunarsmásjár hafi gegnt hlutverkum við rannsóknir og gæðaeftirlit á matvælum, jafnvel smjöri. Einnig má nefna hér, að smásjárnar gátu komið að gagni við rannsóknir á kristöllum efna (sbr. kafla 27.2 og 29.1), og til að bera kennsl á efni sem viðkomandi vísindamaður hafði aðeins aðgang að í örlitlu magni. Sjá t.d. ýmsar greinar um þessa „microchemie“-tækni eftir K. v. Haushofer á árunum 1880-90, Behrens (1891) sem segir skautunarprismu ómissandi þar, og Pozzi-Escot (1900). Emich (1916) bendir m.a. á að E. Fischer (sjá Fischer 1911, og Viðauka 5) hafi haft mikil not af henni við rannsóknir á fjölpeptíðum. E.M. Chamot hannaði einfalda smásjá með Nicol-prismum fyrir efnafræðinga, sem Bausch & Lomb hófu að selja 1911; sjá um notkun hennar í bók Chamots (1915). Bækur eftir Rosenbusch (1924, kaflinn Die microchemischen Reaktionen á bls. 742-761) og Hartshorne og Stuart (1950, bls. 422-433) segja m.a. frá möguleikum smásjanna við efnagreiningar. Wright (1916), Peck (1919), Benedict (1930) o.fl. tiltaka dæmi um að þær geti verið handhægar til að skoða ýmis kristallakorn í iðnaði (eða blöndur þeirra): sykur, litarefni, alkaloida, slípiefni, framköllunarefni, aminósýrur, sprengiefni, tilbúinn áburð (sjá Bowen 1926), hráefni í gler, o.s.frv. Hinn þekkti jarðefnafræðingur V.M. Goldschmidt (1920) nýtti sér skautunarsmásjá við þróun á hvítum títanoxíð-samböndum í málningu; hann fékk einkaleyfi á framleiðsluáðferð fyrir þau, og útrýmdi títanhvítan með tímanum blýhvítu sem var óheppilegt efni frá umhverfis- og heilsufarssjónarmiðum. Weinschenk (1925, formáli) hnýtir í efnafræðinga fyrir að hafa almennt ekki notað sér smásjárnar sem skyldi.

30 Ný segul- og rafáhrif á ljós, 1896-1925

30.1 Zeeman-hrif, 1896-1910

Eftir uppgötvanir Faradays og síðar Kerrs varðandi segul-áhrif á ljós, reyndu eflaust ýmsir að athuga hvort það hefði einhver áhrif á eiginleika þess sýnilega ljóss sem efni geisla frá sér (t.d. við mikla upphitun, eða þegar sterkur rafstraumur fer um lofttegund), að hafa efnin í segulsviði. P. Zeeman, sem hafði einmitt verið að rannsaka segulhrif Kerrs, prófaði 1896 að skoða tiltekna litrófslínur ljóss sem kom frá natriumgufu (saltmettuðum eldsloga) í sterku segulsviði. Með góðri ljósgreiðu frá H.A. Rowland sá hann (Zeeman 1897) að línurnar breikkuðu lítilla, sem „machte es wahrscheinlich, dass ein wirklicher magnetooptischer Effekt entdeckt war. Das wurde zur Gewissheit, als er gelang, die mit der Verbreiterung verbundenen Polarisationserscheinungen zu beobachten...“ (Zeeman og Bruin 1927). Hér er vísað til þess, að H.A. Lorentz landi Zeemans hafði þá nýverið sett fram vissar hugmyndir um rafhleðslur í efnunum á grundvelli rafsegulfræða Maxwells. Samkvæmt þeim hugmyndum áttu litrófslínur útsends ljóss að klofna í tvennt eða þrennt eftir því hvort horft var samsíða kraftlínunum segulsviðsins eða hornrétt á; í fyrra tilfellinu urðu þær hringskautaðar, en í því síðara línulega skautaðar. Gat Zeeman staðfest það að vissu marki. Sama gerðist ef gleypi-róf (absorption spectrum) natriumgufu var skoðað. Í yfirliti Bohrs (1922) um sögu þessara rannsókna er rífað upp, að snúningsstefnan í hringskautaða ljósinu sýndi að ljósið kom frá neikvætt hlöðnum ögnum eins og vitað var að rafeindir voru. Bohr segir jafnframt rannsóknir Zeemans og Lorentz hafa verið „...generally accepted as a most convincing proof of the electronic theory of matter“. Þær hafi staðfest tryggilega að ljós sé upprunnið í hreyfingum rafeinda innan frumeinda, og brátt leitt til margra nýrra uppgötvana.

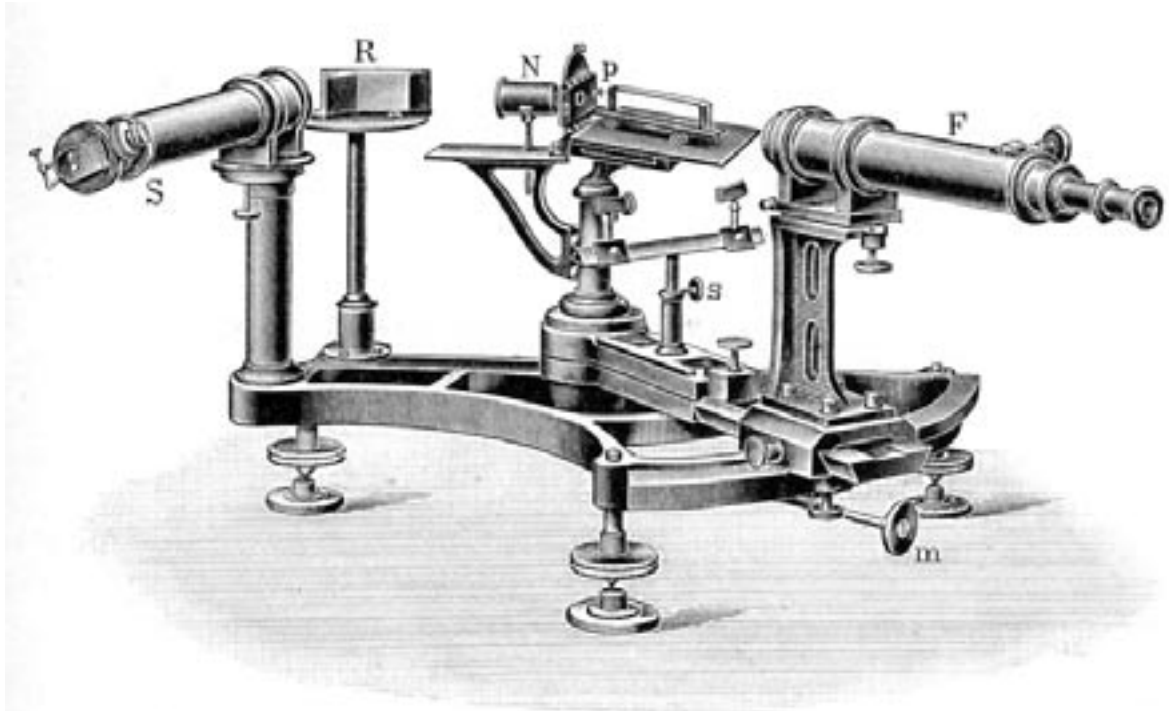
Tíðnibreytingar litrófslínanna voru í réttu hlutfalli við styrk segulsviðsins. Af formúlum Lorentz (1897) og mælingum Zeemans mátti þá m.a. draga mikilvæga ályktun: í útgeislun ljóss frá upphituðum efnunum virtust koma við sögu eindir sem í mörgum (en ekki öllum) tilfellum höfðu hlutfall hleðslu/massa, e/m , af nokkuð svipaðri stærð og þær eindir höfðu sem leiddu rafstraum í þynntum lofttegundum. Í sumum litrófslínum fékkst sama gildi og það sem J.J. Thomson mældi fyrir síðarnefndu eindirnar 1897 með því að skoða áhrif raf- og segulkrafta á þær óbundnar á ferð. Sjá bók Drudes (1900a, bls. 410) sem bendir jafnframt á að hlutfall e/m fyrir vetnisjónir mælist um 2000 sinnum lægra.



Mynd 30-1A. Að ofan: Becquerel og Deslandres (1898) ljósmynduðu litrófslínur frá gufu glóandi járns o.fl. málma í gegnum “un rhomboëdre de spath d’Islande”. Til vinstri er einfalda (triplet-) afbrigðið af hrifunum sem P. Zeeman fann 1896 en hitt eru flóknari afbrigði frá A.A. Michelson og höfundunum. Að neðan: Natriumlogi í segulsviði til rannsókna á Zeeman-hrifum (Macaluso og Corbino 1898). Skautunarplan natriumljóss sem fellur gegnum logann (á leið til vinstri hér) snýst mikið. Mynd úr Lummer (1909).

Becquerel (1897) setti fram tilgátu um tiltekin vensl milli Faraday- og Zeeman- hrifa, og mátti nota kennilegar formúlur hans til að áætla e/m úr Faraday-hrifunum (en útkoman varð í flestum tilfellum of lág, sjá grein eftir C.G. Darwin og W.H. Watson í Proc. Royal Soc. 1927). Larmor (1900, bls. 341) leiddi út almenna niðurstöðu um hreyfingu hlaðinna agna í segulsviði, sem gekk lengra en kenningar Lorentz við að skýra tíðnibreytingar og skautun ljóss í Zeeman-hrifum og varð síðar einnig mikilvæg við að skýra mótseglun (diamagnetism) efna. Þetta allt var að sjálfsögðu áður en E. Rutherford sýndi fram á gerð frumeindanna með áreksturs-tilraunum 1911. Með enn sterkari seglum, næmari ljósvíxlunarmælum og lækkun hitastigs í gufunni sem ljósið kom frá (sjá t.d. H. Becquerel og Deslandres 1898, *Mynd 30-1A*; Michelson 1897, 1898) sást brátt, að litrófslínur klofnuðu iðulega ekki í tvær eða þrjár línur í segulsviði: þær gátu líka t.d. verið 4, 6, 9 eða fleiri og ýmist jafn- eða mis-sterkar. Var það kallað „óeðlileg“ (anomalous) Zeeman-hrif. Vegna hins mismunandi skautunarástands undir-línanna var mjög til bóta við sundurgreiningu þeirra að skoða ljósið gegnum silfurbergskubb (Runge og Paschen 1902, o.m.fl.) eða annan skautunarbúnað (Baeyer og Gehrcke 1909).

Hér má einnig nefna, að ein tegund þeirra ljósvíxlunarmæla sem notaðir voru fram eftir 20. öldinni til þess að skoða nákvæmlega tíðnibreytingar (klofnun) litrófslínanna í segulsviðinu, byggði á speglun ljóssins inni í svonefndri Lummer-Gehrcke plötu (Lummer og Gehrcke 1903, *Mynd 30-1B*). Mælirinn virkaði betur en ella ef ljósið var fyrst gert línulega skautað með Nicol-prisma, en þess var þó ekki alltaf þörf. Plötunni og öðrum tegundum ljósvíxlunarmæla var jafnframt beitt til að skoða fleiri fingerð atriði (Feinstruktur, síðar einnig Hyperfeinstruktur af völdum segulvægis atómkjarnanna) í litrófslinum. Sjá um það til dæmis Hansen (1925) sem notar svona plötu og stórt Nicol-prisma við að greina Balmer-línur vetnis hverja um sig í sundur, og athugun Stauffers (1930) á rófi sundurklippts ljósgeisla, *Mynd 38-2*. Fínbygging litrófa hefur alla tíð reynst afar mikilvæg til prófunar á kenningum um eðli frumeinda.

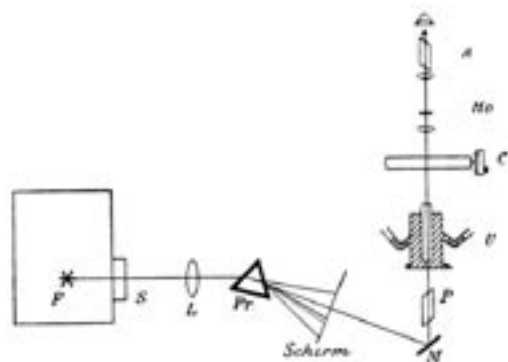
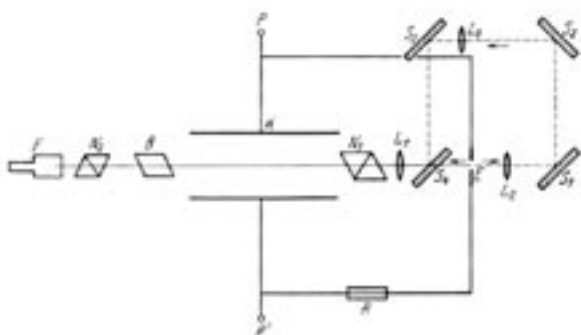
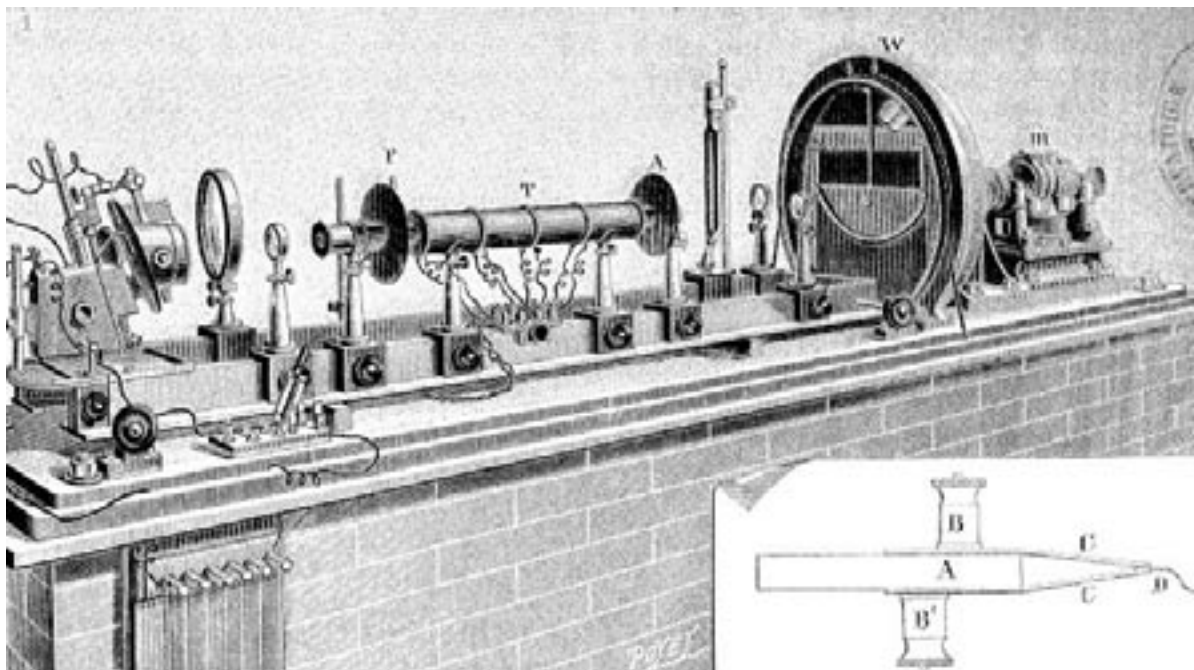


Mynd 30-1B. Rannsóknir á Zeeman-hrifunum kölluðu á bæði smíði öflugri segla en áður og á tæki til að teygja sem mest úr litrófum. Eitt þeirra tækja var einfaldlega gler- eða kvarsplata með alveg samsíða hliðum, uppfundin af Lummer og Gehrcke (1903). Hún sést hér hægra megin við p, ásamt venjulegu glerprisma R til grófrar for-rófgreiningar ljóss frá S og Nicol-prisma N sem skerpti litrófslínurnar. Mynd úr Lummer (1909).

„Die Entdeckung Zeemans und die weiteren sich daran knüpfenden Arbeiten haben das Interesse der physikalischen Welt in hohem Masse erregt“ segja útgefendur *Physikalische Zeitschrift* í stuttum inngangi með yfirlitsgrein Voigts (1899-1900). Ein þeirra uppgötvana sem vöktu hvað mesta athygli var sú (Macaluso og Corbino 1898, Mynd 30-1A) að heit natriumgufa í segulsviði sýndi mikla optiska virkni ef tíðni ljóssins sem sent var í gegnum hana, var nálægt tíðni gulu línanna tveggja í gufunni. Sjá nánar í kafla 30.2 og kafla 39.3. Cotton (1899) gerir í annarri yfirlitsgrein talsvert úr þýðingu Zeeman-hrifanna fyrir skilning á grundvallarlögmálum um víxlverkun geislunar og efnis. Zeeman-hrifin að meðtöldu skautunarástandi ljóssins voru mjög gagnleg í litrófsrannsóknum næstu árin, til dæmis við að skipta hinum fjölmörgu litrófslínunum hvers frumefnis upp í samstæðar syrpur (Preston 1899; Runge og Paschen 1902).

Í svonefndum „eðlilegum“ Zeeman-hrifum, sem eru fremur sjaldgæf og fundust fyrst um 1907 m.a. í tilteknum litrófslínunum frá helíum (Paschen og Back 1912, bls. 897) og zínki, komu tíðnibreytingar ljóss í segulsviði alveg heim við hinar fræðilegu hugmyndir Lorentz. Þetta notuðu til dæmis Weiss og Cotton (1907) til þess að gera mun nákvæmari mælingu á hlutfallinu e/m fyrir rafeindir en hægt var þá að gera með áður nefndri aðferð J.J. Thomsons. Notuðu þeir einhvern „analyseur“, væntanlega Nicol-prisma, til að skerpa litrófslínurnar, og hið sama gerðu síðari athugendur eins og Babcock (1923) í ítarlegri mælingum á e/m . Menn reyndu að setja ýmis auka-skilyrði inn í fræðin til að skýra þau „eðlilegu“ áhrif sem segulsvið hafði á allar hinar litrófslínurnar.

G.E. Hale (1908) birti niðurstöður mælinga með Nicol-prisum á Zeeman-hrifum (tíðnibreytingum og mismunandi skautun) í ljósi frá sólblettum. Þær sýndu ótvírætt, að sterk segulsvið tengjast blettunum, og skv. *Dictionary of Scientific Biography* (1980-90) var



Mynd 30-2. Kerr-rafhrif. Að ofan: Mælingar Crehores og Squiers (1895) á hraða fallbyssuskota. Í byrjun kemst ekkert ljós frá lampa lengst t.v. gegnum greiniprismað í A því það snýr hornrétt á skautaraprismað í P. Þegar byssukúlan er lögð af stað, er hún látin kveikja á háspennu-þétti í rörinu T þannig að vökvinn í því fær tvöfalt ljósbrot. Mjór ljósgeisli kemst þá gegnum A og fellur á ljósmyndaplötu við W sem mótörinn m snýr með þekktum hraða. Kúlan slekkur svo háspennuna eftir að hafa farið þekkt vegalengd. Mynd úr La Nature. Að neðan t.v.: Tilraun Abrahams og Lemoines (1900) sem sýndi að rafhrif Kerrs (í vökva milli þéttisplatanna K, sem ekki er sýndur) komast á á um 10^{-8} sek. Það gerði kleift að nýta þessi hrif til mælinga á ljóshraðanum. Mynd úr Born (1933). T.h.: Mæling Tauerns (1910) á Kerr-hrifum við mismunandi bylgjulengdir ljóss, í gleri og CS_2 . Sýnin eru í ílátinu U.

Þessi uppgötvun talin ein merkasta framför í þekkingu á þeim frá því á 17. öld. Með bættum tækjakosti tókst síðan að finna að sólin í heild hefur um sig segulsvið sem er um hundraðfalt sterkara en segulsvið jarðar (Hale 1913). Um 1914 höfðu Hale og samstarfsmenn áttað sig á því að breytingar voru að verða á segulsviði sólblettanna (skv. ævisögu hans eftir H. Wright, 1966), og einnig kom í ljós að tveir nálægir blettir voru oft þör þannig að annar var norður- og hinn suður-segulskaut. 1918-19 staðfestu þeir að segulsvið sólbletta sem og megin-segulsvið sólarinnar snerust við á 11 ára fresti (sjá t.d. Hale og Nicholson 1925). Allt þetta hafði að sjálfsögðu mikil áhrif í stjarnvísindum.

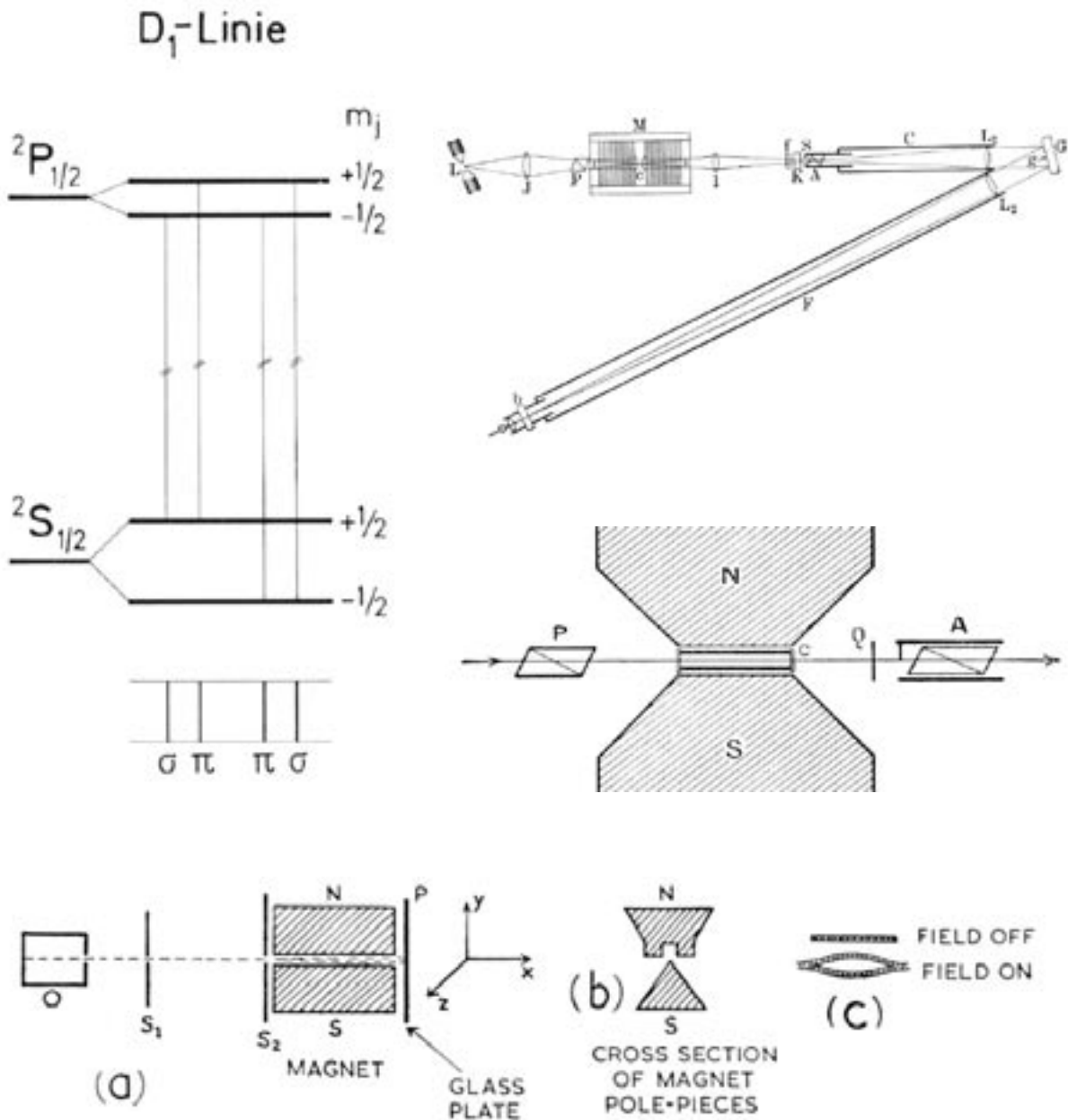
30.2 Zeeman-hrif og önnur segul- og rafhrif tengd skautun ljóss, 1900-25

Þessi áhrif á ljós í efnunum eru margvísleg, og hafa þegar verið nefnd segulhrif Faradays, raf- og segulhrif Kerrs og rafhrif Pockels. Þau var haldið áfram að kanna á árabílinu 1900-25, bæði með tilraunum og fræðilega. Til dæmis endurbætti Lowry (1913b og síðar) mælitækni Perkins í rannsóknum á Faraday-hrifum í lífrænum efnunum (kafla 22.3), m.a. með því að nota fleiri en eina bylgjulengd sýnilegs ljóss, og Ingersoll (1917) teygði þær mælingar inn á innrauða bylgjusviðið. J. Becquerel (1909, o.m.fl.) gerði athyglisverðar uppgötvanir á Faraday-hrifum og ljósgleypni tengdri þeim við lág hitastig. Chaumont (1915) kannaði rafhrif Kerrs ítarlega með nýjum tækjum. Ofanefnd hrif hafa komið að verulegu gagni við könnun á byggingu frumeinda, sameinda, vökva og fastra efna; m.a. kallar Tomaschek (1934, bls. 362) Kerr-rafhrifin „Ein sehr wichtiges Hilfsmittel“ hvað það varðar. Menn skoðuðu sömuleiðis optiska virkni án raf- og segulsviða (s.s. Born 1915).

Fyrir 1890 var vitað, að í rafhrifum Kerrs og segulhrifum Faradays tók það sameindir efna minna en 0,1 millisekúndu að bregðast við utanaðkomandi segul- eða rafsviði. Abraham og Lemoine (1900, *Mynd 30-2*) sýndu fram á að í Kerr-rafhrifunum væri tímatöfin milli rafsviðsins og snúnings skautunarplansins aðeins smábrot úr míkrosek. Um aldamótin var þegar byrjað að kanna möguleika á tæknilegri nýtingu þessara hrifa. Setjum til dæmis efni með sterk Faraday-hrif (svo sem CS₂ í röri) milli tveggja Nicol-prisma sem snúa hornrétt hvort á annað. Ljósgeisli kemst þá ekki langsum eftir búnaðinum fyrr en kveikt er á sterku segulsviði umhverfis efnið. Þessu var beitt m.a. í mælingum á hraða fallbyssukúlna (Crehore og Squier 1895, *Mynd 30-2*) og á straumstyrk í riðstraumi (Pionchon 1895, Abraham og Buisson 1897). Tauern (1910, *Mynd 30-2*) mældi tvöfalda ljósbrotið í gleri af völdum rafsviðs mjög nákvæmlega, enda var þá orðið hægt að finna breytingar á fasahorni ljóss um sem svaraði 1/2000 úr bylgjulengd. Taldi hann jafnvel fyrirsjáanlegt að nota mætti Kerr-hrifin til mælinga á rafspennu, og á sama hátt hafði H. Becquerel stungið upp á því 1884 að nota Faraday-hrifin í mælitækni fyrir jafnstraum. Ekki hefur þó orðið úr því að ráði. Sjá nánar í 38. kafla.

Majorana-hrif sem fundust 1902, eru tvöfalt ljósbrot sviflausna (colloids) af segulmögnum efnunum í segulsviði (sjá t.d. Cotton og Mouton 1905, 1907a). Cotton-Mouton-hrif (Cotton og Mouton 1907b, *Mynd 30-3*) sem stundum eru einnig kennd við W. Voigt, eru segulhrif hliðstæð rafhrifum Kerrs. Í þeim verður vökvi eða gas úr sameindum með misátta lögum lítilla tvíbrjótandi í sterku segulsviði, og bentu Cotton og Mouton (1913) brátt á möguleika þessarar tækni til að rannsaka gerð lífrænna sameinda.

Þá má nefna Stark-hrif (klofnun litrófslína í fleiri línur, með mismunandi skautun eftir því hvaðan horft var) sem eru hliðstæð Zeeman-hrifum á útgeislun ljóss en verða af völdum rafsviðs fremur en segulsviðs. Margar tilraunir voru gerðar til að finna þau, en án árangurs fyrr en J. Stark (1913, og stuttu síðar A. Lo Surdo) tókst það í vetni og helium með geysi-sterkum rafsviðum



Mynd 30-3. Um Zeeman-hrif og önnur áhrif segulsviðs á eindir. T.v.: Á skemanu sést hvernig tvö af þeim stöðuorkuprepum sem lögmál skammtafræðinnar leyfa natrium-frumeind að vera á, klovna í sundur þegar hún er í segulsviði. Neðst er gefið til kynna að tvær hinna fjögurra klovninga-lína sjáist ef horft er samsíða sviðinu (π), tvær ef horft er hornrétt á (σ). Mynd úr Haken-Wolf: Atom-und Quantenphysik, 1990. T.h.: Að ofan er ein margra tilrauna sem prófuðu hinar ýmsu kenningar um Zeeman-hrifin (Geiger 1907). G er ljósgreiða til nærrar rófgreiningar á skautaða ljósinu sem hefur farið gegnum málmgufu í segulsviði við c. Neðar er búnaður Cottons og Moutons (1905, 1907a,b) til mælinga á tvöföldu ljósbroti tiltekinnar vökva í segulsviði, með fasajafnara Q og hálfskugga-prisma A. Neðst: Tilraun Gerlachs og Sterns (1922) sem Zeeman-hrifin gáfu tilefni til að framkvæma. Til vinstri koma silfurfrumeindir út úr ofni gegnum aflangt misleitt segulsvið í lofttæmi, og falla á glerplötuna P. Sviðið togar í sumar þeirra á aðra áttina og í allar jafnsterkt, sumar í hina áttina. Úr Yarwood (1963).

(100000 V/cm), sjá Viðauka 5. P.S. Epstein (1916) skýrði bæði klofnunina og skautunina út frá hinum nýju lögmálum skammtafræðinnar, og segir í greinarlok niðurstöður sínar gefa „... Beweis von schlagender Überzeugungskraft für die Richtigkeit des Bohrschen Atommodells“. Bruhat (1942) tekur undir það að skýring Epsteins (og óháð honum K. Schwarzschilds á sama ári) „a été un des premiers succès des théories quantiques“. Stark-hrifin þóttu löngum minna spennandi en Zeeman-hrifin, og segir t.d. í bók G. Herzbergs um litrófsrannsóknir 1937 að þau séu „of no particular value as a help in the analysis of a spectrum“. Þau gegndu hinsvegar talsverðu hlutverki í rannsóknum (frá sjónarhóli skammtakenningarinnar) á myndun sameinda, breikkun litrófslína, og rafsvörunarstuðlum efna.

Margir rannsökuðu Zeeman-hrifin frá ýmsum hliðum á árunum fram yfir 1920. Þar má telja m.a. A. Righi, C. Runge, R.W. Wood, og J. Becquerel. Dæmigerðar eru rannsóknir L. Geigers (1907, *Mynd 30-3*) og R. Ladenburgs (1912; sjá D.S.B.) á Faraday-hrifum í glóandi gufum frumefna. Þær voru gerðar í framhaldi af áður nefndri tilraun Macaluso og Corbinos (1898), til að prófa kenningar um áhrif segulsviðsins á hreyfingar rafeindanna í frumeindum, en um túlkunina var þó margt enn óljóst. Nýr áfangi í skilningi á Zeeman-hrifunum náðist þegar Paschen og Back (1912) sýndu að „eðlilegu“ hrifin líkjast meir og meir þeim „eðlilegu“ sem Lorentz spáði fyrir um, þegar segulsviðið verður mjög sterkt. Síðan má vitna í Born (1933, bls. 459): „Landé hat als erster eine quantentheoretische Beschreibung der Zeemanaufspaltung aus den empirischen Tatsachen herausgelesen. Das hierdurch gewonnene Material war einer der wichtigsten Bausteine beim Aufbau der Quantenmechanik selbst und ihrer Anwendung auf die Atomstrukturen.“ Í greinum Landés, sem birtust 1921-23, kemur m.a. fram hvernig ljósskautunin í Zeeman-hrifum tengist reglum skammtafræðanna um heimilaðar ástandsþrengingar rafeindar (*Mynd 30-3*). Sjá einnig t.d. yfirlitsgrein eftir Zeeman og Bruin (1927).

Enn eitt stórt skref til aukins skilnings á lögmálum skammtafræðinnar var stigið með tilraunum Gerlachs og Sterns (1922, o.fl.), sem Zeeman-hrifin munu einkum hafa gefið þeim tilefni til að framkvæma (sbr. t.d. Yarwood 1963). Þar var sýnt fram á að frumeindir silfur-gufu í segulsviði hefðu skömmtuð gildi á segulvægi sínu, sjá *Mynd 30-3* neðst og Viðauka 5. Þetta segulvægi mátti gera ráð fyrir að tilheyrði hinni stöku gildisrafeind silfursins. Nánar er fjallað um þessi mál í kafla 39.3.

E. Goldstein uppgötvaði 1886 svonefnda „Kanalstrahlen“, strauma jákvætt hlaðinna frumeinda sem fá mátti fram í lofttæmdum háspennuhylkjum með götöttum rafskautum. Þessar eindir gáfu frá sér ljós við árekstra, og Stark-hrifin sem nefnd voru hér að ofan, fundust einmitt upphaflega í slíku ljósi. Kanalgeisla-ljósið var talsvert rannsakað fram eftir 20. öldinni, svo sem skautun þess við ýmsar aðstæður (t.d. Stark og Lunelund 1914, Hertel 1927), og dreifing geislunarinnar á bylgjulengdir var m.a. mæld með König-Martens skautunarljósmæli (Stark og Steubing 1908). Þótti sumt af því vera „wichtiger Beitrag zur Frage nach der Natur des Lichtes“ (Tomaschek 1934, bls. 223-224) en ekki verður fjallað hér nánar um rannsóknir á kanal-geislunum; þætti þeirra í þróun frumeinda-eðlisfræðinnar hafa lítt verið gerð skil í yfirlitsritum.



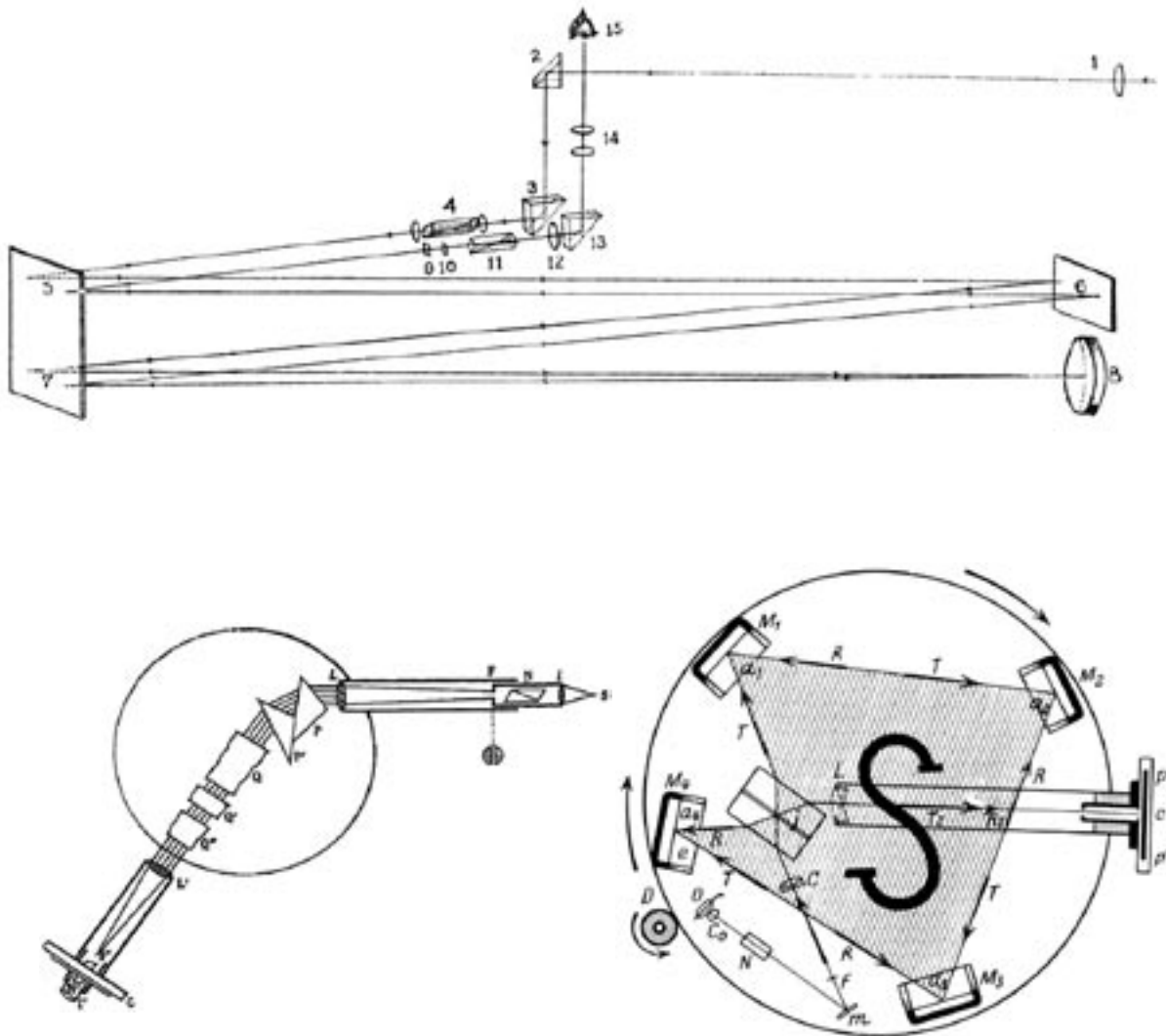
31 Hreyfing miðað við ljósvakann, um 1860-1915

Hraði jarðar á braut sinni um sólu er um 30 km/sek (en hraði punkts við miðbaug vegna snúnings jarðar um sjálfa sig er innan við hálfan km/sek). Brautarhraðinn sem er nálægt 1/10000 af ljóshraðanum, hefur þau áhrif að stefnan til pólstjörnunnar breytist lítillega eftir árstíðum. Þessi áhrif (aberration) voru vel þekkt allt frá því um 1730.

Meðan vísindamenn trúðu á tilvist ljósvakaefnis sem fyllti alheiminn, var þeim mikið í mun að kanna hvort hægt væri að finna (með mælingu innan húss) hraða einhvers staðar á jörðinni miðað við það. A. Fresnel hafði spáð fyrir um, hvernig hlutir á ferð „drægju með sér“ ljósvakann, og tókst H. Fizeau að staðfesta þá spá 1851, með því að mæla ljóshraða á móti og undan straumi í rennandi vatni. Fizeau (1860) gerði síðan viðamiklar mælingar til að kanna hvort hreyfing jarðar um sólu hefði áhrif á snúning skautunarplans ljóss sem hann sendi í tvær áttir gegnum hallandi glerplötur (sjá Drude 1900a, bls. 437-8). Niðurstöðurnar virtust gefa hreyfingu miðað við ljósvakann til kynna, en voru ekki afgerandi. Lofaði franska vísindaakademian á árinu 1870 verðlaunum fyrir nýjar uppgötvanir í ljóstillraunum, sem tengdust hreyfingu jarðar gegnum ljósvakann. Voru verðlaunin veitt E. Mascart fyrir ítarlegar rannsóknir (Mascart 1872, 1874, sjá C.R. 79, bls. 1531-1534, 1874). Ein tilraun Mascarts kannaði hvort hreyfingin hefði áhrif á tvöfalda ljósbrotið í íslensku silfurbergi, og önnur (*Mynd 31-1*) prófaði áhrif á optiska virkni í kvarsi, en þær gáfu til kynna að engin leið væri að finna hraða jarðar miðað við ljósvakann. E. Ketteler (1872) skrifaði um svipað leyti fræðilegar greinar um áhrif hreyfingar jarðar á tvöfalt ljósbrot og mun (skv. Wien-Harms 1928, bls. 84) einnig hafa framkvæmt mælingar í því skyni, með neikvæðum niðurstöðum.

Voru næstu áratugi gerðar ýmiskonar tilraunir til að finna þessa hreyfingu, með aflfræðiaðferðum, rafsviðum, segulsviðum eða ljósi. Þær gáfu yfirleitt neikvæðar eða ófullnægjandi niðurstöður, og eru gleymdar nú að einni undantekinni. Sú umfangsmikla tilraun sem er kennd við A.A. Michelson og E.W. Morley og birtist 1887, byggði á mjög næmum ljósvíxlunarmæli þess fyrrnefnda. Gekk hún út á það að athuga hvort ljóshraðinn í tómarúmi hér við yfirborð jarðar væri háður stefnu, sem ekki reyndist vera. Samkvæmt kafla um J.C. Maxwell í Dictionary of Scientific Biography (1980-90) má rekja hugmyndina að tilrauninni til hans. Mörg næstu árin voru menn að velta túlkun hennar fyrir sér (sjá t.d. Preston 1895, og grein um G. F. FitzGerald í D.S.B.), og voru gerðar frekari tilraunir af sama toga, m.a. af Morley og D.C. Miller 1904.

Ljóst var orðið um aldamótin af umfjöllun FitzGerald's, H.A. Lorentz o.fl. (sjá van Nostrand 1889) um aflfræði út frá rafsegulfræðum Maxwells, að hlutir á ferð áttu að þjappast saman



Mynd 31-1. Þrjár af þeim tilraunum varðandi hreyfingu miðað við ljósvakann (aether) þar sem skautað ljós kom við sögu. Að ofan: Í tilraun Braces (1904b) fór ljós fram og aftur í 4 m löngu vatnstrogi. Var reynt að finna tvöfalt ljósbrot í vatninu af völdum hraða jarðar, eins og samþjöppunar-tilgáta H.A. Lorentz og G.F. Fitzgeralds spáði. Hlutirnir 4 og 11 eru Nicol-prismu. Að neðan t.v.: Ein verðlaunatilraun Mascarts (1872), könnun á áhrifum hreyfingar jarðar á snúning skautunarplans ljóss frá s í kvars-kubbum QQ'Q''. Séð er ofan á tilraunabúnaðinn, Nicol-prismu eru á báðum endum. T.h.: Ílátid S sem horft er ofan á hér og er um 0,5 m í þvermál, snýst. Sagnac (1913) kannaði með ljósvíxl-mæli við M_4 , hvort geisli á ferð inni í ílátinu færi hraðar með snúningnum en á móti. Nicol-prismað N er notað til að jafna styrk geislanna. Mynd úr Wien-Harms (1928).

í hreyfistefnuna. Lorentz gat þannig t.d. útskýrt hvers vegna tilraunir Mascarts með skautað ljós gáfu enga hreyfingu til kynna. Tilraunir voru síðan gerðar af Rayleigh (1902b) og Brace (1904b) til að prófa hvort sú samþjöppun sem Lorentz spáði, ylli tvöföldu ljósbroti í glærum efnum á sama hátt og þrýstingur (kafla 27.3). Er talið að tilraun þess síðarnefnda (*Mynd 31-1*) hafi verið 300 sinnum næmari en tilraun Michelsons og Morleys, en ekki sáust í henni áhrif af hreyfingu jarðar.

Fleiri af þeim athugunum, sem gerðar voru til að átta sig á hreyfingu jarðar miðað við ljósvakann, byggðu á skautun ljóss. Í tveim tilraunum (Rayleigh 1902a, Brace 1905b) var kannað hvort hreyfingin hefði áhrif á optiska virkni í kvasi eða olíu. Sú fyrri, sem virðist raunar svipuð og ein tilraun Mascarts (1872, 1874), notaði þykkar kvarsplötur sem sneru skautunarplani guls ljóss yfir 5000°. Brace (1905c) endurtók svo tilraun Fizeaus sem nefnd var hér að ofan, með mjög bættri tækni. Niðurstöður voru enn neikvæðar: stefna ljósgeisla virtist ekki skipta neinu máli um eiginleika hans. Allar þessar tilraunir voru talsvert ræddar af fræðimönnum, sjá t.d. Larmor (1904).

Kemur þá til þessarar sögu Albert Einstein. Til gamans má geta þess hér, að fyrsta vísindalega ritgerð hans er skrifuð í menntaskóla um 1895 og fjallar um ljós í segulmögnum efnis; þar nefnir hann tvöfalt ljósbrot og skautaðar bylgjur (sjá heildarútgáfu Princeton-háskóla á verkum Einsteins, 1. bindi 1987). Einstein getur þess í bréfi 1899, að hann hafi lesið grein W. Wiens (1898) þar sem taldar eru upp einar 13 fyrri tilraunir til að mæla hraða jarðarinnar miðað við ljósvakann, m.a. mælingar Fizeaus og Mascarts með skautuðu ljósi.

Þegar Einstein (1905b) setti fram hina sérstöku afstæðiskenningu sína, vitnaði hann ekki til heimilda, en í upphafi greinar hans segir: „...die misslungene Versuche, eine Bewegung der Erde relativ zum „Lichtmedium“ zu konstatieren, führen zu der Vermutung dass dem Begriffe der absoluten Ruhe...keine Eigenschaften der Erscheinungen entsprechen,...“. Er vel mögulegt að þar sé hann t.d. að vísa til hinna nýlegu tilrauna sem Rayleigh og Brace höfðu gert á skautuðu ljósi, ekki síður en til eldri tilraunar Michelsons og Morleys sem notaði óskautað ljós. Í seinni greinum Einsteins og viðtölum við hann um tilurð afstæðiskenningarinnar sýnist mér hann þó eingöngu vitna til Michelson-Morley tilraunarinnar. Kenning Einsteins „destroyed the ether“, eins og P.A.M. Dirac kallaði það síðar, en það tók hana þó talsverðan tíma að ná fótfestu, og haldið var áfram að gera margskonar tilraunir til að finna ljósvaka-hraðann a.m.k. til 1930. Meðal þeirra þar sem skautað ljós kom við sögu, var frekari endurbót Strassers (1907) á Fizeau-Brace tilrauninum. Kennedy (1922) setti upp ljóstillraun með Wollaston-prisma og fjórum Nicol-prismum í sama skyni, en virðist svo hafa breytt henni í aðra einfaldari (Kennedy 1928) þar sem var samt nauðsynlegt að nota skautað ljós. Varðandi síðari kennilega umfjöllun um ljósvakann má t.d. vísa á Tomaschek (1934).

Sagnac (1913) gerði merka tilraun til að mæla snúningshraða hlutar sem snýst, með því að skoða hve miklu fljóttara ljós er að fara í hring (inni í hlutnum) móti snúningnum en með. Tilraunin (*Mynd 31-1*), þar sem Nicol-prisma var í aukahlutverki, var lengi mjög í umræðunni varðandi afstæðiskenninguna og tilvist ljósvakans, en hún hafði í raun ekkert með afstæðiskenninguna að gera. Þessi Sagnac-hrif hafa haft verulega þýðingu í staðsetningartækni á síðari árum.

Enn eitt tilvik þar sem leiðir Alberts Einstein og silfurbergs lágu saman, var í Princeton-háskóla þar sem R.A. Beth (1936) setti upp mjög næma tilraun til að mæla hverfiþunga ljóss. Þar féll geisli gegnum stórt Nicol-prisma á kvarsþynnur upphengdar í fínum þræði. Neðanmáls þakkar Beth Einstein fyrir ítarlegar samræður þeirra um tækjabúnaðinn og aðstoð við að leiðrétta villu í eldri fræðilegri grein um málið.

Að lokum skal ítrekað hér tvennt varðandi afstæðiskenninguna. Annarsvegar á hún tilurð sína að miklu leyti að þakka rafsegulfræðum Maxwells og almennri viðurkenningu

eðlisfræðinga á réttmæti þeirra fyrir 1900. Mönnum var þá einnig orðið ljóst að fræði Maxwells voru ósamrýmanleg lögmálum Newtons um hreyfingu, og afstæðiskeningin var ein þeirra aðferða sem prófaðar voru til að koma á samræmi milli rafsegulfræðanna og aflfræðinnar. Í allri þeirri þróun kom skautun ljóss talsvert við sögu eins og bent hefur verið á víða í þessum skrifum. Hinsvegar var ein afleiðing kenningarinnar jafnan $E = mc^2$ sem Einstein setti fram í sérstakri grein síðla 1905. Vísindamenn voru þá mjög að hugleiða uppsprettu þeirrar orku sem losnaði við geislavirkni sumra frumefna, og sömuleiðis hvaðan sólin og stjörnur fengju orku sína. Ég hef ekki kannað hvort möguleiki hefði verið á næstu áratugum að geta sér til um þetta jafngildi efnismagns og orku, óháð afstæðiskeningunni (til dæmis úr nákvæmum mælingum á varmaframleiðslu og tilheyrandi breytingum heildar-atómmassa geislavirks efnis). Jafna Einsteins hlýtur að hafa verið mikilvægt leiðarljós í rannsóknum á klofnun (fission) atómkjarna um og upp úr 1940, og í síðari hagnýtingu kjarnorkunnar í hernaðarlegum og friðsamlegum tilgangi.

32 Náman 1895-1910 og silfurbergsframboð

Eftir að silfurbergsnáman hafði legið áratug í dvala, seldu stjórnvöld Tulinius-feðgum rekstur hennar á leigu til fimm ára frá miðju ári 1895, ásamt sölu á öllum afurðum. Samningurinn var svo framlengdur tvívegis í fimm ár, og sá verslunarfyrtæki Thors E. í Kaupmannahöfn um sölu. Um ævi Thors má lesa í kafla Gils Guðmundssonar um hann í ritinu „Þeir settu svip á öldina I“, sem út kom 1987. Faðir hans lést 1905. Var þeim gert að skila fjárhagsuppgjöri um hver áramót, og eru mörg slík í bréfamöppu Þjóðskjalasafns (*Mynd 32-1*). Var silfurbergið flokkað í þrennt, A+B, C og D. Ekki hef ég séð skilgreiningu á öllum flokkunum, en B er væntanlega annaðhvort litlir gallalausir kristallar eða stórir lítillaga gallaðir, og C var „secunda“. Seldust úr A+B- flokknum 100-250 pund á ári en oftast minna úr hinum, og fór verðið greinilega hækkandi a.m.k. til 1908. Hluti ríkisins af söluandvirðinu að frádregnum kostnaði Thors virðist hafa verið kringum 2000 kr. á ári að meðaltali. Þessa tölu nefnir einnig Ussing (1902) sem segir að um 10 manns starfi í námunni á sumrin. Til samanburðar við upphæðina 2000 kr. má nefna, að á árinu 1902 var íslenskur róðrabátur vélvæddur í fyrsta sinn, og kostaði vélin 900 kr. ísett skv. Öldinni okkar.

Sultarsöngur notenda silfurbergsins hélt áfram, eins og sjá má á Viðauka 1A. Þó virðast alltaf einhverjir hafa átt kristalla til sölu og tækjasmíða, sjá Viðauka 1B, og er vel hugsanlegt að þeir hafi komið sér upp birgðum meðan nóg var til. Þannig hef ég komist yfir verðlista frá Optische Werkstatt Bernhard Halle (um 1895-99, *Mynd 32-2*) í Steglitz við Berlín, ódagsettan. Þetta fyrirtæki býður til sölu alls um 30 tegundir af Nicol-prismum, öðrum skautunar-prismum, slípuðum kubbum, kúlum, linsum og plötum úr silfurbergi, samanlagt í nær 200 stærðum og útfærslum. Verðlisti Pellins (1899) býður einnig Nicol-prismu, silfurbergskubba, prismu og linsur af mismunandi stærð og lögun til rannsókna og kennslu. Porter (1907) er sömuleiðis að selja margskonar Nicol-prismu allt að 4,5 cm löng, margskonar linsur, 60°-tvístursprismu, tveggja geisla prismu, kubba, plötur og kúlur. Aftast í kennslubók P. Groths (1905) um kristallafræði er auglýsing frá firmanu Steeg & Reuter um fjölbreytt úrval skautunarprisma og silfurbergs-stykkja. Í þeirri bók og víðar um svipað leyti (t.d. Leiss 1898, 1908, o.fl.) birtust einnig auglýsingar og kynningargreinar frá fyrirtækjum eins og R. Fuess, Voigt & Hochgesang, og Zeiss um allskyns skautunarsmásjár. Í bókum Landolts (1898) og Rolfes (1905) er lýst mörgum gerðum fánlegra polarimetra fyrir rannsóknir á lífrænum vökvum.

Í flestum smásjám, polarimetrum og ljósmælum voru tvö Nicol-prismu, stundum fleiri eða aukahlutir úr silfurbergi. Í meðalstórt Nicol-prisma, sem ég giska á að hafi verið um 2 cm á kant (1,8 cm eru nefndir í grein eftir M. Katalinic í *Ann. Phys.* 83, 1927), hefur líklega orðið að nota

Thor E. Tulinius.

Telegramadresse:
„Thore“.

Telefoner:

Nr. 508 Cabels.
• 556 Hovedkontor.
• 5342 Dampskibs Expedition.
• 29015 y Faldens Asiatic Kompagni.
• 29010 x - Christiansgade.

Havnegade 43.

Kjøbenhavn K., den 1. Januar 08.

Herved har jeg den Ære at fremsende Forhandlingsregning
over Doppelspath, solgt i Aaret 1907, hvoraf Regeringens Andel er

Kr. 2751,81,

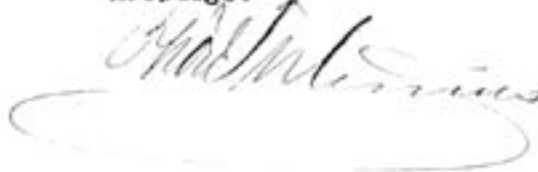
som staar til det høje Ministeriums Disposition.

Beholdningen ved Nytaar stiller sig saaledes:

Beholdning 1 Jan.	A & B	C.	D.
1907	2703,32 Pd.	396,68 Pd.	3498,12 Pd.
Solgt i Løbet af			
1907	<u>113,35 "</u>	<u>6,40 "</u>	<u>59,98 "</u>
<u>I Behold 1 Jan. 1908</u>	<u>2589,97 Pd.</u>	<u>390,28 Pd.</u>	<u>3438,14 Pd.</u>

Da det, forinden yderligere Udvinning kan ske, er nødven-
digt at foretage betydelige Sprengninger og Udgravninger, har man ikke i
1907 haft Anledning til at faa noget op af Minen.

Arbødigst



Til

Íslands Ministeriums Kontor
i Kjøbenhavn.

Stjórnarráð Íslands II

Þrátt. / nr. 463

102 3/308

Mynd 32-1. Uppgjör Thors E. Tulinius fyrir sölu um 180 punda af silfurbergi á árinu 1907 (af Þjóðskjalasafni). Með fylgdi sundurliðað yfirlit um tekjur og gjöld. Samkvæmt framlengdum samningi frá 1895 við stjórnvöld var allur rekstur Helgustaðanámunnar og sala á hans hendi, en söluandvirðið að frádregnum kostnaði skiptist til helminga milli aðila. Thore-fyrirtækið hafði nokkur flutningaskip í förum um þetta leyti, og var silfurbergsverslunin því aðeins örlítið brot af umsvifum þess.

PREIS-LISTE
VON
Bernhard Halle
Optische Werkstatt
Steglitz bei Berlin.




SPECIALITÄT:
OPTISCHE ERZEUGNISSE
ZUR POLARISATION DES LICHTS
etc.

— 12 —

100. **Prismen**, gleichseitige, brechende Kante senkrecht oder parallel zur Axe. — **Prisma equilateral**, the refracting edge perpendicular or parallel to the axis.
 ex. 10 □ mm Seite — in the side 6,— M.
 - 12 - - - - - 8,—
 - 15 - - - - - 12,—
 - 20 - - - - - 20,—
 - 25 - - - - - 30,—
101. **Prismen**, brechende Kante parallel der Axe im Winkel von 30° sind 30% billiger als vorstehende. — **Prisms**, the refracting edge parallel to the axis, in the edge of 30° are 30% lower in the price than the preceding prisms.
102. Dieselben mit polirten Basisflächen. — **Ditto Prisms**, the basis planes polished. 8—32 M.
103. **Würfel**, senkrecht und parallel der Axe. — **Cubes** perpendicular or parallel to the axis.
104. **Rhomboeder**, mit natürlichen Spaltungsflächen ohne besonderes Poliren derselben je nach GröÙe und Reinheit. — **Rhombohedrons**, with natural cleavage planes without polishing of them according to dimension or purity.
105. **Rhomboeder**, mit 6 polirten Spaltungsflächen. — **Rhombohedrons**, with 6 polished cleavage planes.
 15 mm Seite — in the side 8,— M.
 17 - - - - - 10,—
 20 - - - - - 12,—
 25 - - - - - 20,—
 30 - - - - - 30,—
106. Dieselben mit noch zwei senkrecht zur Axe angeschliffenen Flächen. — **Ditto** with two polished planes perpendicular to the axis.



Mynd 32-2. Kápa og ein blaðsíða úr verðlista B. Halles (um 1895). Fyrirtæki hans (sem er enn starfandi) býður Nicol-prismu af mörgum gerðum og aðra íhluti í rannsóknatæki í ljósfræði, svo og búnað til nemendatilrauna og sýnikennslu um skautað ljós.

tvo kristalla 2,5 cm að stærð eða meir. Það útheimtir af stærðargráðu 200 g per sjóntæki. Magn það sem Thor E. Tulinius var að selja fyrir ríkið 1897-1908 af öllum gæðaflokkum hefur því e.t.v. dugað í 500 tæki að meðaltali á ári, en manni virðist að framleiðsla tækja hljóti að hafa verið meiri en það.

Í uppgjörum Thors E. Tulinius a.m.k. allt frá 1897 er talað um að gæði efnisins sem unnið var, séu slök og fari síversnandi (sjá einnig tilvitnun í Badermann 1910 og Encycl. Britannica 1910-11 í Viðauka 1A). 1901 var lítið gert annað en að sprengja burtu kletta til að komast betur að efninu. Voru síðan fengnir þrír námumenn frá Noregi til sprenginga 1905, en ekki virðist það verk hafa tekist vel, því að um áramótin 1906-07 kveður Thor enn meiri sprenginga þörf. Ekkert hreint silfurberg að ráði náðist á árunum 1905-08, en skv. tölum í Dammer og Tietze (1913) var „die Produktion“ (e.t.v. eiga þeir þó við sölu kristalla fremur en framleiðslu) svipuð 1908-10 eins og fyrstu ár aldarinnar.

Í bréfi frá firma Carl Zeiss í Þýskalandi til Hannesar Hafstein ráðherra Íslands dags. 23.10. 1906 (í Þjskjs., sjá Leó Kristjánsson 2003) kveðst Dr. R. Straubel f.h. firmans vilja kaupa silfurberg beint af eiganda námunnar, því gæði þess efnis sem falt sé, séu ófullnægjandi.

Firmað B. Halle sem nefnt var hér áðan, stóð síðan í bréfaskiptum við Stjórnarráðið 1907-08 og sýndi áhuga á að taka silfurbergsnámið á leigu. Halle-menn vildu jafnvel að samningi við Thor E. Tulinius um námuna yrði sagt upp hið fyrsta, enda hefði hann sjálfur tjáð þeim þegar 1905 að lítið væri þar að hafa. Þeir höfðu heyrt að sýni úr annarri námu á Íslandi væru komin til meginlandsins: hugsanlega er það frá Ökrum á Mýrum þar sem Guðmundur Jakobsson og Magnús Blöndal voru komnir með vinnsluréttindi 1910 (skv. fylgiskjali 218 af þeim skjölum sem nefnd verða í kafla 37.1), en allsendis er mér þó óljóst hvort nýtanlegt silfurberg fannst nokkurn tíma þar. Badermann (1910) ræðir um tvær námur hér, sem útsendarar hafi nýlega kannað á vegum þýskra sjóntækjasmíða og telji enn vera talsvert silfurberg óunnið í. Þar á hann líkast til við leiðangur G. Angenheisters og A. Ansels til rannsókna á atburðum tengdum komu Halley-halastjörnnar.

Um 1897 eða fyrr var fundarstaður fjölbreyttra kalkspatkrystalla við svonefnt Baidar-hlið á Krímskaga orðinn allþekktur, og var sýnt fram á um aldamótin að búa mætti til Nicol-prismu úr sumum þeirra (Sokolow 1898, Zemiatsenskij 1902). Smávegis af silfurbergskrystöllum „denjenigen von Island...wenig nachstehend“ hafði fundist við Auerbach í Þýskalandi fyrir aldamótin (sjá útdrátt skýrslu eftir A. Leuze í Zeitschr. Kristallogr. 30, 1899). Hugsanleg skýring á hinum sýnilega mun á eftirspurn og framboði á íslensku silfurbergi, gæti verið sú að einhverjir tækjaframleiðendur hafi komið sér upp samböndum til að fá krystalla úr námu sem aðrir vissu ekki af, t.d. í Pyreneafjöllum (sbr. kafla 4.1). Það er þó einskær ágiskun mín.

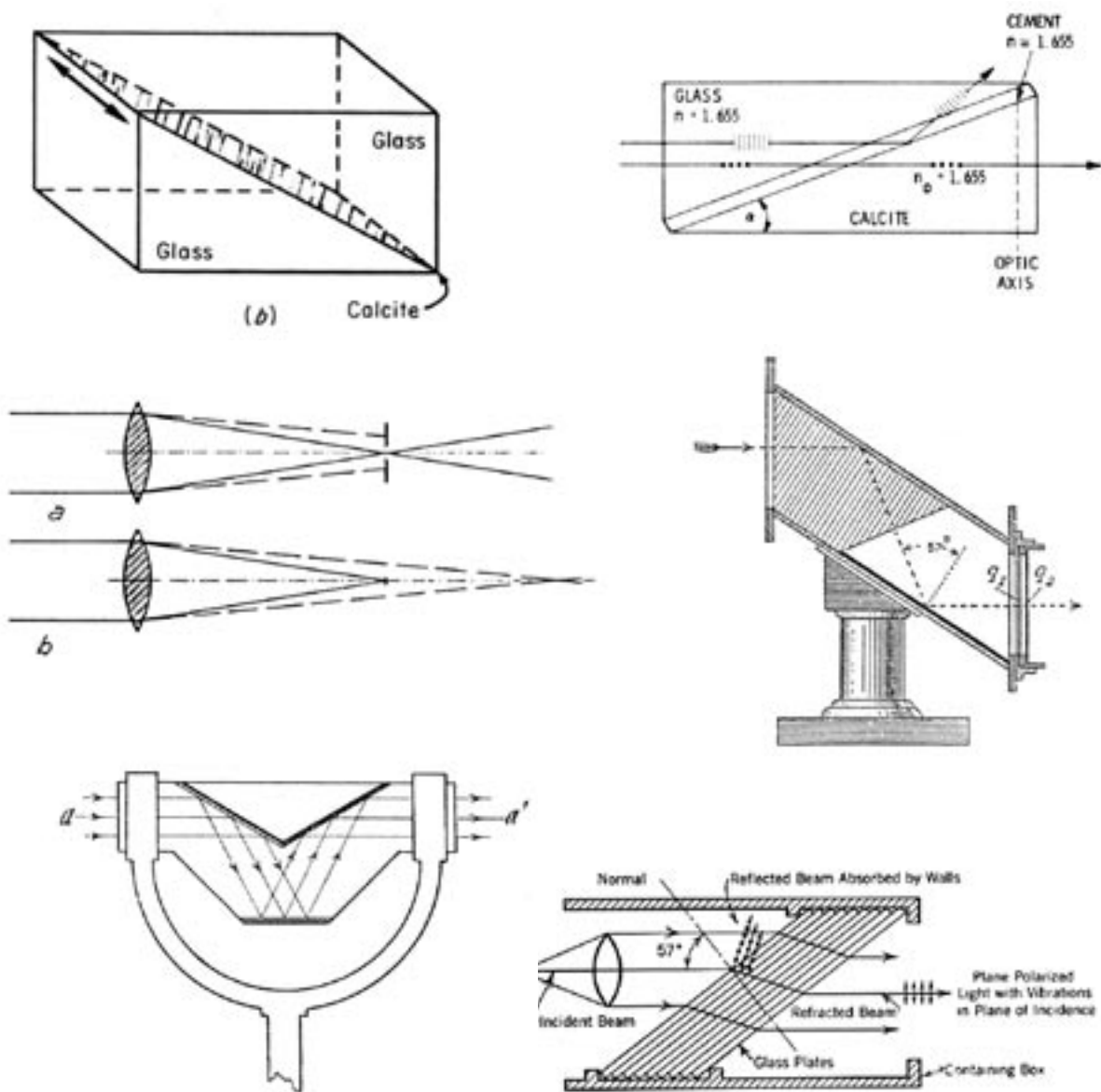
33 Íhlutir í stað silfurbergs í Nicol-prismum o.fl., 1885-1920

Þegar silfurbergs-skortur fór að sverfa að upp úr 1880, reyndu menn eðlilega að bæta aðferðir til að komast af án þess við skautun ljóss í tækjum, og finna nýjar.

33.1 Glerplötur o.fl.

Ein aðferð er að nota ljós sem ýmist hefur skautast við endurkast frá dökkum glerflötum undir Brewsters-horni (sjá fyrr; *Mynd 33-1*), eða við að fara í gegnum skásettan stafla af glerplötum. Endurkasts-afbrigðið hefur ýmsa galla við notkun í tækjum: aðeins um 25% þess helmings ljóssins sem nota skal, endurkastast frá einni þunnri glerplötu, sjá *Mynd 7-3*; sjónsviðið (þ.e. bil nýtilegra innfallshorna) er þröngt (Bennett og Bennett 1978, bls. 83); stefna ljósgeislans breytist mjög, sem er óheppilegt; og ljósið verður í raun ekki alveg línulega skautað (Zehnder 1908b). Þessi aðferð, kölluð Glasplattensatz-Polarisator og oft kennd við J. Nörrenberg (*Mynd 10-2*), var eitthvað notuð í einfaldar ódýrar smásjár (Leiss 1897a; sjá *Mynd 33-2*), upphitunarsmásjár til athugana á kristöllumarferlum (Rosenbusch 1924) og í tæki með stækkunarglerjum til fljótlegar skoðunar stórra grófkorna þunnsneiða (sjá Schneiderhöhn 1922, bls. 5), íss (McConnel og Kidd 1888) og kristalþynna (Wheatstone 1871, Bertin 1879), sjá *Mynd 33-2*. Einnig dugði hún í tæki til sýnitilrauna og verklegra æfinga í skólum (t.d. Thompson 1905, bls. 234-235, *Mynd 33-1* úr Rosenberg 1924), við rannsóknir á ljósfjöðrun (Coker og Thompson 1912, Coker og Filon 1931, *Mynd 27-4* og *Mynd 33-1*) og á Maxwell-hrifum í vökvum (Zocher 1925), við tiltekna athuganir á sólinni (Chevalier 1906), og prófanir á optisku gleri (Halle 1921, bls. 8-9) sem og í glerverksmiðjum almennt (Spencer og Jones 1931). Aðferðinni var þar að auki mikið beitt á útfjólublátt og innrautt (> 2400 nm) ljós, sem silfurbergsprismu gleypa (Lowry 1935; Françon 1963; Bennett og Bennett 1978).

Með speglun ljósgeislans tvívegis frá samsíða glerplötum mátti láta hann hliðrast til í stað þess að breyta um stefnu (Hall 1892, Grimsehl 1905). Þessi útfærsla nýtti stundum einnig algert endurvarp í glerprismum uppfundnum af C. Delezenne 1834 (t.d. Barnard 1863; Mascart 1889, bls. 517; Pellin 1899; Thompson 1905, sjá *Mynd 33-1*). Þrefaldir speglar voru einnig útbúnir, til dæmis fyrir myndvarpa tengda smásjám (Metzner 1920). Skautunarprismu úr gleri án glerplatanna voru prófuð (Schulz 1911, sjá einnig Johannsen 1914, bls. 175, og Metzner 1920) en virðast ekki hafa náð mikilli útbreiðslu, e.t.v. vegna þess að þau hafi aðeins dugað



Mynd 33-1. Ýmis búnaður til að koma í stað Nicol-prisma við að búa til línulega skautað ljós úr venjulegu, og spara þannig silfurberg. Engin þessara hugmynda náði þó útbreiðslu að ráði. Efst t.v.: Svonefnt Feussner-glerprisma með silfurbergspynnu, endurbætt af Bertrand (1884a,b). Ör sýnir ljósásinn. Í stað glersins mætti nota vökva með háum brotstuðli, og í stað silfurbergsins var reynt að hafa natriumnítrat. Mynd úr Bennett og Bennett (1978). T.h.: Gler sett í stað annars helmings Nicol-prisma, sjá t.d. Leiss (1897c). Mynd úr Ammann og Massey (1968). Í miðið t.v.: Silfurbergslinsa með tveim brennividdum, ljósásinn er í plani linsunnar. Heilu línurnar hægra megin tákna “venjulega” geislann; á neðri myndinni er hann stoppaður af en á efri myndinni sá óvenjulegi. Úr Schulz (1925). T.h.: Skautun með speglun í glerplötum eða svonefndu Delezenne-glerprisma, sjá Barnard (1863). q_1 og q_2 eru fjórðungspynnur úr maríugleri (glimmer), til þess að snúa megi að vild skautunarplani ljóssins sem út kemur. Úr Thompson (1905), sjá einnig Schulz (1911). Neðst t.v.: Skautun með speglun tvívegis utan á þríhyrnu glerprisma, málmpлата er fyrir neðan. Úr Rosenberg (1924). T.h.: Ljós sent gegnum stafla af hallandi glerplötum (Glasplattensatz). Mynd úr Frocht (1941).

fyrir þröngt bil innfallshorna eða að spennur í glerinu hafi rýrt ljósgæðin (Glazebrook 1923, bls. 498).

Nokkrar útfærslur á gegnskins-afbrigði glerplötu-aðferðarinnar til skautunar komu fram kringum 1920 (sjá Metzner 1920 og Wien-Harms 1928, bls. 370-373, *Mynd 33-1*) en það hefur einnig galla: ljósið verður t.d. ekki alveg línulega skautað þótt einfaldar formúlur spái því (Bennett og Bennett 1978, bls. 88). Bruhat (1930, bls. 6) segir glerplötunna almennt ónothæfar í mælitæki.

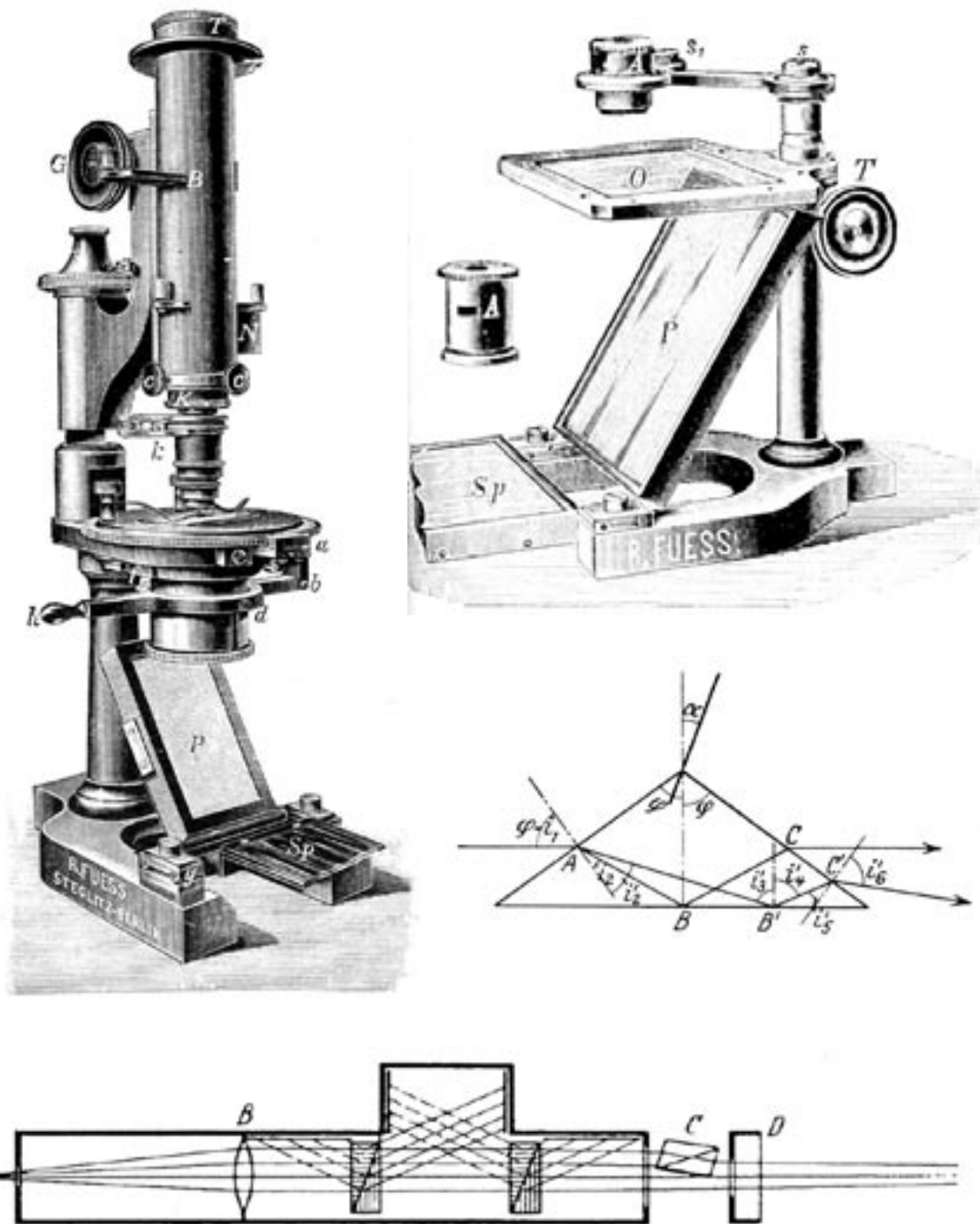
Turmalin-þynnur var lítilsháttar reynt að nota í smásjám, t.d. af Nelson (1902) en þær náðu aldrei útbreiðslu þar. Turmalin-kristallar hafa margbreytilega liti (Wien-Harms 1928, bls. 398) eins og nefnt var í kafla 12.3, og var efnið líklega einkum notað í einfaldan búnað til greiningar steinda út frá bylgjuvíxl-mynstrum eða ljósgleypingu (Halle 1921, bls. 125, *Mynd 12-1*, o.fl.), til að skoða skautun ljóss frá himninum (Busch og Jensen 1911, bls. 293), og til kennslu. Lommel (1881, og fyrr) skrifaði um þynnur úr magnesium-platínu-cyan efnasambandi, sem virkuðu svipað og turmalin, en aðeins á blátt ljós. Ein frumlegasta hugmyndin varðandi skautara í stað Nicol-prisma tók mið af byggingu kalkskelja tiltekinna sjávardýra s.s. ígulkerja (Becher 1914).

33.2 Sparnaðar-afbrigði Nicol-prisma, kalkspatlinnur

Sú mikla fjölbreytni, sem varð í útfærslum á Nicol-prismum (*Mynd 12-1*, mið-hluti) stafar að hluta af tilraunum til að nýta silfurbergið sem best fyrir mismunandi þarfir ljóstækjanna. Jafnframt voru gerðar tilraunir með margskonar límeftni milli prisma-helminganna í stað upphaflegu trjákvöðunnar (Canada balsam).

Fljótlega eftir að Nicol-prismað var fundið upp, áttaði H. F. Talbot sig á því, að sá helmingur þess sem aftar var, hafði ekkert með skautun ljóssins að gera, heldur bara tryggði að „óvenjulegi“ ljósgeislinn breytti ekki um stefnu í prismanu í heild. Mátti því spara hið dýrmæta efni til hálfis með því að setja gler í stað þessa aftari helmings. Ekki voru þó gerðar tilraunir með þetta fyrr en eftir 1870 (Talbot 1872; Leiss 1897c; Lommel 1898), sjá *Mynd 33-1*. Lítið vandamál var að fá gler sem hafði sama brotstuðul og silfurbergið fyrir t.d. gult natrium-ljós, en ekki tókst næstu áratugin að framleiða gler með brotstuðli sem breyttist á sama hátt með bylgjulengd (þ.e. hafði sama ljósvístur) eins og silfurberg (Hardy 1935). Tvö hornrétt silfurbergs/gler-prismu gátu því ekki fyllilega slökkt hvítan ljósgeisla. Heppilegar glertegundir fundust um síðir (Ammann og Massey 1968) en þá komu upp vandamál s.s. vegna mynd-aflögunar í slíkum prismum, og mismunandi hitaþenslu glers og silfurbergs (Bennett og Bennett 1978, bls. 40).

Reynt að snúa hinum samsettu prismum við: láta ljósgeislann fara fyrst gegnum glerfleyginn og síðan silfurbergið, og láta annan skautunarþáttinn speglast út til hliðar á skilfleti límeftnis og silfurbergs. Til þess þurfti lím með brotstuðli a.m.k. 1,655, en fæst límkennd efni ná svo háu gildi. Enn ein aðferðin sem reynd var, var sú að setja silfurbergsþynnu á milli tveggja vökva- eða glerfleyga (Jamin 1869; Feussner 1884; Bertrand 1884a; Madan 1890; Sang 1891; Coker og Filon 1931, bls. 60, *Mynd 33-1*) en hitaþenslu-vandkvæði komu þar upp eins og í hálfglersprismunum (sjá Ammann og Massey 1968; Bennett og Bennett 1978) auk þess sem þynnuprismun hleypa í gegnum sig þrengra bylgjulengdabili en venjuleg Nicol-prismu. Búnaður þessarar gerðar með silfurbergsþynnu í brómnaftalíni eða CS₂ sem Brace (1903) bjó til, var mjög góður skautari en viðkvæmur og erfiður í notkun. Í Handbuch der Physik, Band 20, 1928 eru þynnu-skautarar sagðir „fast gar nicht in Gebrauch gekommen“.



Mynd 33-2. Fleiri ráðstafanir til að spara silfurberg. T.v.: Smásjá með glerplötu-skautara P og litlu greiniprisma við N, e.t.v. einkum ætluð skólum (Leiss 1899b). T.h. efst: Statív til lauslegrar skoðunar t.d. á mylsnu eða stórum þunnisneiðum bergs o.fl., með glerspegli P. Greiniprisma og stækkunargler eru í A. Úr Leiss (1897a). T.h. neðar: Silfurbergsprisma Doves (1864) var notað stöku sinnum sem skautari í ljóstækjum, svo sem þegar skortur var á silfurbergi um 1920 (Schönrock 1928). Geisli af venjulegu ljósi sem kemur inn lárétt frá hægri, fer út sem tveir línulega skautaðir geislar í mismunandi áttir. Neðst: Polarimeter þar sem tvö Senarmont-prisnu úr afgang-silfurbergi koma í stað eins Nicol-prisma. Dökkar mattar glerplötur gleypa óþarfa geisla. Litla Nicol-prismað C gefur hálfskugga. Úr Schönrock (1928).

Um og upp úr 1920 má sjá merki þess að menn færu að nota tveggja geisla silfurbergs-prismu (sjá kafla 12.1) sem skautara í ljóstæki í stað Nicol-prisma. Grosse (1887) hafði raunar bent á það löngu fyrr, að réttthyrnda jafnarma prismað sem Dove (1864, *Mynd 33-2*) lýsti fyrstur, væri ódýrt og í sumum tilvikum mjög hagkvæmt. Í smáklauðu í Nature 103, bls. 239, 1919 kemur fram að F.J. Cheshire hafi sett tveggja geisla prisma í sýningartæki sem hann smíðaði, og tekið fram að til þess hafi þurft 1/8 af efninu miðað við jafngott Nicol-prisma. Weigert og Käppler (1924) nota í sama skyni Senarmont-prisma, og Hardy (1935) notar Rochon-prisma í ljósmæli. Schönrock (1928, bls. 729-731) segir framleiðendur hafa á nokkru árabili (um 1920 ?) lagt á sig að breyta hönnun polarimetra til að nýta í þeim Senarmont- og Dove-prismu (*Mynd 33-2*), vegna þess að „sehr gut brauchbare Polarisatoren“ sé þannig hægt að fá úr „dem bisherigen Abfall“, þ.e. gömlum efnisafgöngum.

Ein sniðug uppfinning til sparnaðar silfurbergs í ljóstækjum var sú að búa til linsur úr því, í stað prisma. Henni var m.a. lýst af Fedorow (1901), en það var örugglega B. Martin (1774) sem fyrstur benti á þann möguleika. Ef ljóspunktur er hæfilega langt öðru megin við silfurbergs-linsu (*Mynd 33-1*), koma fram tvær myndir af honum hinumegin við hana, og má stoppa það ljós sem myndar myndpunktinn nær linsunni, með því að láta það falla þar á litla plötu úr dökku efni. Þetta dregur aðeins óverulega (nokkur %) úr ljósmagninu sem hinn myndpunkturinn fær. Meðal annars voru svona linsur notaðar af Sagnac (1904) við að prófa tiltekin óvissuatriði varðandi útbreiðslu ljóss eftir ás ljóstækja, og af Lowry (1908) í rannsóknum á optiskri virkni kvars í útfjólubláu ljósi. Nokkur skrif voru síðan um þessa aðferð upp úr 1920 vegna deilu um einkaleyfi (sjá Schulz 1925) en ekki veit ég hvort hún hefur verið nýtt að ráði.

33.3 Saltpéturskristallar

Til þess að losna undan takmörkunum silfurbergsins gat dugað að finna annað efni, jafngott frá ljósfræðilegum sjónarhóli, sem auðvelt væri að búa til kristalla úr (eða fyndist í meira magni en silfurbergið) og meðhöndla. Augljósasti valkosturinn af fyrri gerðinni, og sá eini sem eitthvað var reynt við að ráði, var natríumnítrat (saltpétur). Það er glært, mjög ódýrt, optískt negatíft með enn meiri mun brotstuðla (1,587 og 1,336) en silfurbergið og kristallast í skáteninga eins og það (þ.e. þau eru einsmynda; horn milli flata eru um 106° í stað 105° í silfurbergi). Sjá Feussner (1884) og Bertrand (1884a) um prismu og þynnur úr saltpétri, sem þeir voru vongóðir um að kæmust í almenna notkun í ljóstækjum. Um áralangar tilraunir til ræktunar á þessum kristöllum má lesa m.a. hjá Wulff (1895, 1897). Hún reyndist vandkvæðum bundin, en menn misstu ekki alveg móðinn því að Bauer (1904, bls. 269) segir um Nicol-prismu: „Zuweilen werden sie aus anderen Substanzen (Natronsalpeter, etc.) hergestellt“. Badermann (1910) kveður „grosse Stücke Natronsalpeter von recht guter Qualität“ vera komna á markaðinn frá París. Saltpéturinn dregur hins vegar í sig raka úr andrúmsloftinu, þannig að alla slípaða fleti verður að þekja strax með öðrum efnem; auk þess er „seine Bearbeitung erheblich schwieriger als die des Spats“ skv. Halle (1921). Og „Die Versuche, den bisher fast ausschliesslich benutzten Kalkspat durch andere Kristalle mit ähnlichen optischen Eigenschaften zu ersetzen, haben bislang noch zu keinen praktischen Resultat geführt“ segja Schulz og Gleichen (1919, bls. 42). Sjá um þessi málefni eftir 1920 í 35. kafla.

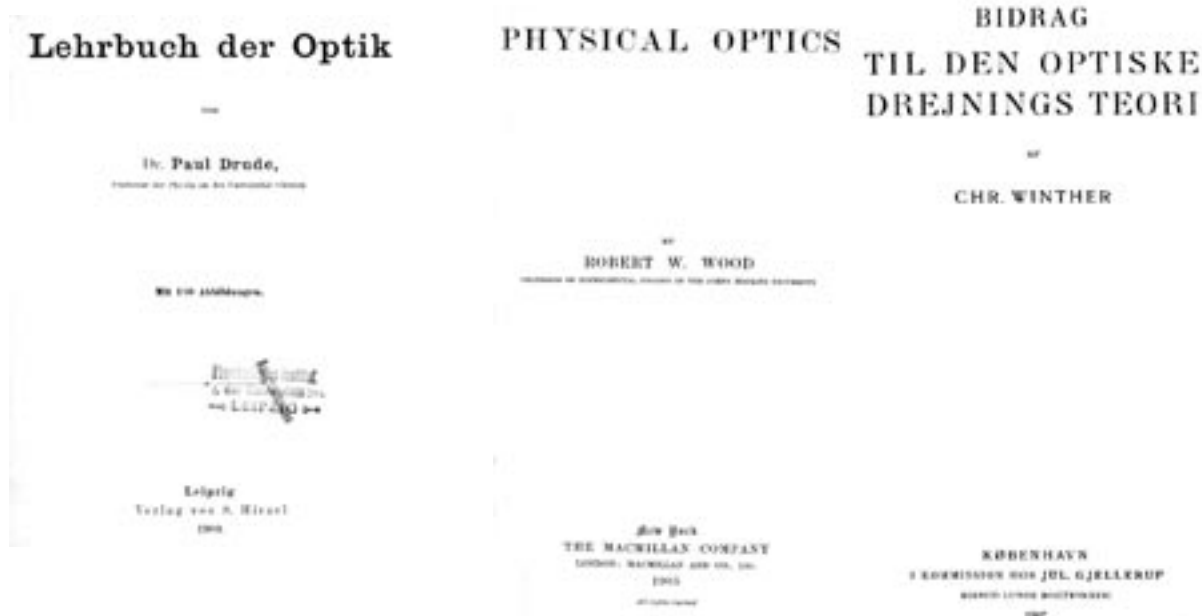


34 Ýmsar rannsóknir frá 1900 fram yfir 1920

34.1 Eðliseiginleikar silfurbergs o.fl.

Rannsóknir á ýmsum eðliseiginleikum silfurbergs og kalkspats almennt héldu áfram um og eftir aldamótin og komu eflaust að gagni á ýmsum vettvangi, þótt ekki hafi allar opnað nýjar leiðir í vísindunum. Auk ljósmælinga (kaflar 28.3 og 34.2) má nefna athuganir á seguleiginleikum (Königsberger 1898, Voigt og Kinoshita 1907), klofnunar-stefnum (Friedel 1902), rafeiginleikum (Fellinger 1902; W. Schmidt 1902; Pisani 1906; Röntgen 1907; Richardson 1915), aflögun við þrýsting (Rinne 1903; Adams 1910), breytingu á kristallahornum og brotstuðlum við bæði lágan og háan hita (V.M. Goldschmidt 1912, Wright 1913, Rinne 1914), bráðnun við mjög háan hita (Boeke 1912), ætingu og upplausnarhraða (V. Goldschmidt og Wright 1903, 1904; Beilby 1909; Gaubert 1912; Honess 1918), varmaleiðni (Eucken 1911), og breytingum þeim sem verða á kalkspatkristöllum við kalkbrennslu (Rinne 1928). Bäckström (1925) gerði ítarlega rannsókn á varmafræðilegum stærðum við ummyndun aragonits í kalkspat með tilraunum á m.a. silfurbergskristöllum.

Út komu á ofan nefndu tímabili merkar bækur um ljósfræði og eðliseiginleika kristalla, þar sem ýmsar fyrri rannsóknir á kalkspati eru rifjaðar upp, t.d. Drude (1900a), Schuster (1904, sjá Schuster og Nicholson 1923), Wood (1905), Pockels (1906), Winkelmann (1906), Lummer (1909), og Voigt (1910). Sjá *Mynd 34-1A*. Á kennilega sviðinu má nefna almenna grein eftir Grünwald (1902) um útbreiðslu rafsegul- og fjaðurbylgna í einása kristöllum, sem Gårding (1989) segir hafa verið merka framför á því sviði. Um 1915 var einnig talsvert verið að skrifa um ljós í vökvum og kristöllum, þar með um optiska virkni, t.d. af P. Langevin, M. Born (1915), P.P. Ewald, og C.W. Oseen. Hér má jafnframt nota tækifærið til að benda á það, að viðfangsefni varðandi skautun ljóss og tvöfalt ljósbrot voru mjög algeng í doktorsritgerðum á mörgum sviðum raunvísinda, lífvísinda og tækni á 19. öld og fram eftir þeirri 20. Birtust niðurstöður þeirra ýmist í formi greina í tímaritum eða sem sérprent (*Mynd 34-1A*). Fjöldi þeirra ungu vísindamanna sem þannig fengu þjálfun, getur vel hafa skipt þúsundum, og áttu margir þeirra síðar merkan feril.

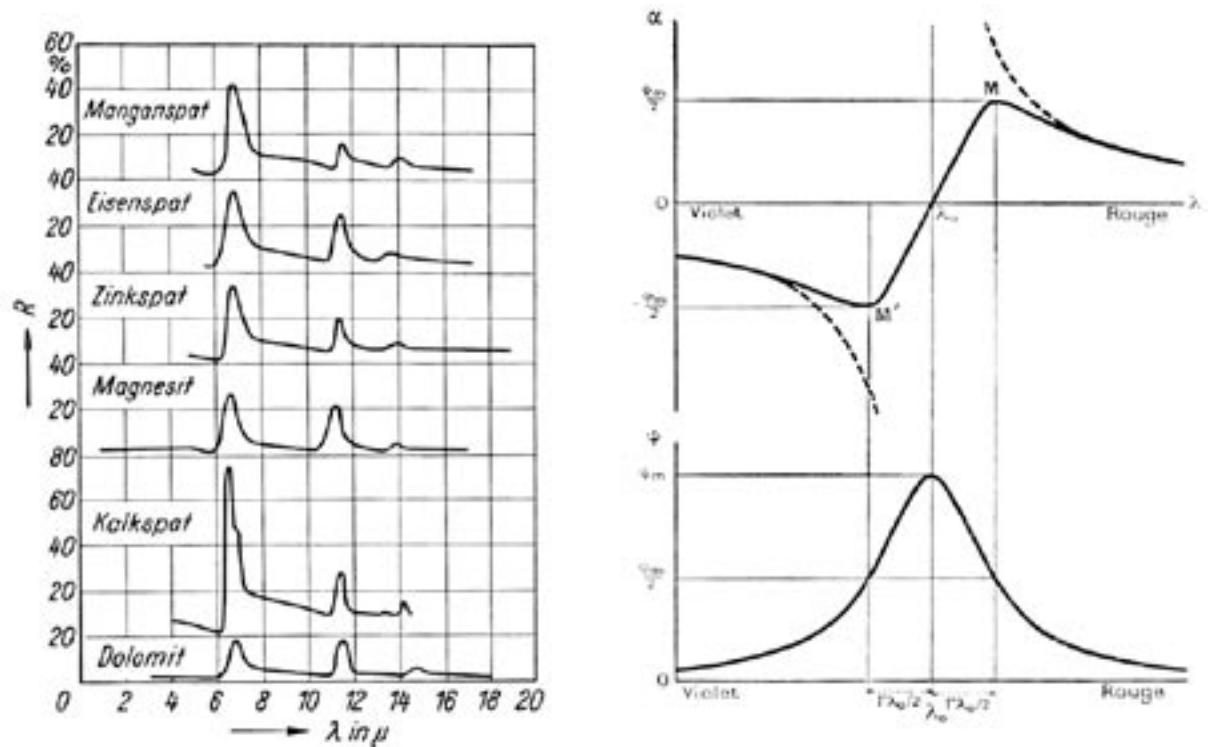


Mynd 34-1A. T.v. og í miðrið: Tvær af þekktustu háskóla-kennslubókum í ljósfræði í upphafi 20. aldar. Bók Drudes (1900a) kom út aftur 1906 og 1912, á ensku tvisvar og á frönsku, auk endurprentana. Bók Woods (1905) kom einnig í a.m.k. þrem útgáfum og mörgum endurprentunum. Báðar fjölluðu ítarlega um skautað ljós og tvöfalt ljósbrot. T.h.: Rannsóknir á skautuðu ljósi voru oft stór þáttur doktorsverkefna í raunvísindum, einnig stundum í verkfræði eða lífvísindum. Hér sést sérprentuð ritgerð frá Kaupmannahöfn, 1907 (142 bls.).

34.2 Sveiflukerfi efniseinda

Einn helsti hvatinn að ítarlegum rannsóknum á brotstuðuls- og snúningstvistri á bylgjulengdum út fyrir þær sýnilegu, var leitinn að formúlum fyrir því sem væru bæði nákvæmar og hefðu fræðilegan grunn. Fyrir 1900 höfðu H. v. Helmholtz (1892), H.A. Lorentz o.fl. skýrt tvístar brotstuðuls efna með almennum formúlum (sem Sellmeier (1872) og Ketteler (1874) settu raunar fram löngu fyrr út frá eldri kenningum um ljósið, sjá kafla 21.2). Þær byggðu á rafsegulfræðum Maxwells og hugmyndum um að dempuð sveiflukerfi (oscillators) með mismunandi eigintíðnum væru í sameindum efnanna. Breytingar á brotstuðlinum með bylgjulengd verða mestar (anomalous dispersion) þegar tíðni ljóssins er mjög nálægt einhverri eigintíðninni. Þá gleypir líka efnið mikið af ljósinu (*Mynd 34-1B*), eins og m.a. var sannreynt í mælingum Pflügers (1898) sem notaði litrófs-ljósmæli Königs með silfurbergsprismum.

Brotstuðuls-tvistrið í silfurbergi og fleiri efnum gaf til kynna (t.d. Carvallo 1900, Martens 1901), að eigintíðnirnar lögju í langflestum tilfellum alllangt frá sýnilegu ljósi, bæði á útfjólubláa sviðinu og því innrauða. Drude (1900a) benti á, að um snúningstvistur kvars mætti notast við samskonar formúlur. Þar þurfti þó aðeins að gera ráð fyrir útfjólubláu eigintíðninni sem þekkt var úr brotstuðulstvistri kvars (hún samsvarar um 100 nm bylgjulengd) en ekki þeirri innrauðu. Fyrir ljóssnúningismælingar Gumlichs (1898) á kvasi fyrir bylgjulengdabilið 220-2140 nm passaði formúla Drudes mun betur en fyrri nálgunarformúlur Boltzmanns (kafla 18.1) og annarra. Ekki voru þá tiltækar nógu ítarlegar snúningismælingar á öðrum efnum en kvasi til að reikna eigintíðnir út úr, en Drude sýnir að tvístar Faraday-hrifa í tveim tilteknum vökvum sem Joubin (1889) mældi, hlíti sömu formúlum. Drude (1900a, bls. 383) bendir jafnframt á þessum hugmyndum til stuðnings, að gleyping hringskautaðs ljóss í vökvum með optiska



Mynd 34-1B. T.v.: Í endurkasti innrauðs ljóss (í %) frá einsmynda málmkarbonötum eru toppar við svipaðar bylgjulengdir. Þeir samsvara því eigintíðnum sveifla innan CO_3 -hópsins (Schaefer og Schubert 1916). T.h.: Bæði venjulegt ljósvístur (dispersion) og snúningsvístur í efni stafa af því að ljósið veður upp sveiflur í eindum þess (Drude 1900a). Efri kúrfan sýnir hvernig brotstuðull eða optísk virkni breytist sem fall af bylgjulengd ljóss (í tómarúmi) þegar tíðni þess er nálægt eigintíðni einhvers sveiflakerfis rafeða frumeinda. Brotu kúrfubútarinnir eiga við nálgunarformúlur sem Biot og aðrir settu fram: þær duga vel ef λ er langt frá λ_0 . Neðri kúrfan sýnir hvernig gleypnin breytist. Mynd úr Bruhat (1942).

virkni (Cotton 1895a, sjá kafla 22.3) sé hliðstæð við þá gleypingu ljóss kringum brotstuðuls-eigintíðnir efna, sem nefnd var í síðustu málsgrein. Nutting (1903b) mældi snúningsvístur í útfjólubláa ljósi í nokkrum öðrum efnum, og fann eigintíðnir þeirra þar.

Ljóst var orðið rétt um 1900 (m.a. úr Zeeman-hrifunum) að vetniskjarni var kringum 1800-falt þyngri en rafeind, og alþekkt er að eigintíðni sveiflakerfis með tiltekinn kraftfasta er í öfugu hlutfalli við kvaðratrót massans í því. Mátti því geta sér til um það (Drude 1904) að eigintíðnir á útfjólubláa sviðinu tilheyrðu sveifluhreyfingum rafeinda, og að innrauðar eigintíðnir tilheyrðu sveiflum einstakra frumeinda, sameindahluta eða heilla sameinda.

H. Rubens og samstarfsmenn höfðu rannsakað innrautt ljós frá um 1892, og fundið að plötur úr einangrandi efnum sem eru glær í sýnilegu ljósi, hleypa mjög illa í gegnum sig innrauðu ljósi á tilteknum tíðnibilum. Þær tíðnir endurkastast því, og má einangra þannig geislun á þröngu tíðnibili eftir 3-5 speglanir frá sama efni: Rubens kallaði hana „Reststrahlen“ frá 1897; fyrstu efnin sem könnuð voru að þessu leyti (sjá D.S.B.) voru kvars með um 8800 nm bylgjulengd, og flússpat með um 24000 nm. Síðan mældu menn matarsalt, maríugler, demant o.fl. auk kalkspats, sem endurkastaði meðal annars geislun með óvenju stutta bylgjulengd, um 6800 nm. Komu sumar bylgjulengdirnar allvel heim við þau innrauðu eiginsveiflu-tíðnigildi sem reikna mátti út úr tvístursmælingum við styttri (innrauðar og sýnilegar) bylgjulengdir. E. Aschkinass (1900) sýndi til dæmis, að eigintíðnirnar voru (a.m.k. að hluta) hinar sömu hjá tveim ólíkum myndum kalsíumkarbonats, þ.e. marmara og kalkspatkrystalli: áttu sveiflurnar sér því að líkindum stað

innan sameindanna, fremur en að sameindirnar í heild eða stærri einingar væru að sveiflast. Kalkspatið var síðan rannsakað nánar, bæði af Rubens (1911; Liebisch og Rubens 1919) og af öðrum (Morse 1907, Nyswander 1909, Koch 1911, o.fl.). C. Schaefer og samstarfsfólk (m.a. Schaefer og Schubert 1916, sjá *Mynd 34-1B*; Schaefer o.fl. 1926) og aðrir (s.s. Plyler 1929) báru endurkast innrauðs ljóss frá kalkspati (að líkindum íslensku), öðrum málm-karbonötum, saltþétri og fleiri efnum saman við útreikninga á eigintíðnum; með selen-spegli til skautunar mátti greina í sundur sveiflur tilheyrandi venjulega og óvenjulega geislanum. Sumar þeirra sveiflutíðna þar sem endurkastið var hvað mest, voru þær sömu í öllum karbonötunum og var þá um sveiflur innan CO₃-hópsins að ræða, en aðrar (lægri) tíðnir voru mismunandi og var þá málmjónin að sveiflast á móti þeim hóp. Eins og nefnt var í kafla 29.8, var Reststrahlen-geislun kalkspats jafnframt notuð fram yfir 1925 við ýmsar rannsóknir á eiginleikum annarra efna, svo sem málma. Síðar tengdist hún umfjöllun um Raman-hrif, sjá kafla 39.7.

34.3 Innrautt ljós og varmafræði

Á 19. öld vissu menn að við upphitun fastra efna jókst hreyfing (agitation) eindanna í þeim, en lítið var þó vitað um eðli þeirrar hreyfingar eða um tengsl hennar við útgeislun frá heitum yfirborðum. Ef þau líkjast svarthlut, á geislunin sér sem kunnugt er stað á breiðu tíðnibili, og liggur því beint við að álykta að hreyfing einda efnisins innan yfirborðsins sé þá mjög fjölbreytileg (samanber hraðadreifingu eindanna í gasi). Þau óvæntu tíðindi að í kristöllum einangrandi efna væru sveiflukerfi með fáum eigintíðnum, urðu A. Einstein (1907) tilefni til mikilvægrar kennilegrar tilgátu um eðlisvarma þeirra. Hann notaði í því skyni hina nýju skammtafræði ásamt einfaldri forsendu um eina og sömu innrauðu eiginsveiflu-tíðni allra frumeinda í hverju efni, til þess að leiða út formúlu fyrir eðlisvarmanum sem falli af hitastigi. Einstein hafði þar til hliðsjónar töflu um mælingar á Reststrahlen-bylgjulengdum kalkspats og fjögurra annarra glærra kristalla. Hann rökstuddi jafnframt út frá hinni háu eigintíðni í sveiflum rafeindanna, að þær skiptu ekki máli fyrir eðlisvarmann. Formúlu hans bar allsæmilega saman við þá hröðu lækun eðlisvarma þessara föstu efna, sem tilraunir höfðu sýnt að yrði eftir því sem hitinn nálgast núll á algildiskvarðanum. Einstein (1911) veltir einnig fyrir sér varmaleiðni einangrandi efna með hliðsjón af skammtafræðinni, og vitnar þar til fyrrnefndra mælinga Euckens (1911) á því hvernig varmaleiðni kalkspats og nokkurra annarra kristalla breytist með hitastigi. Niðurstöður Einsteins vöktu athygli (sjá kafla um W. Nernst í D.S.B.), en 1911 var orðið ljóst að kenningar hans um eðlisvarma þyrfti að endurbæta. Það tókst brátt P. Debye og fleirum; þeir litu þá á varmahreyfinguna sem sveiflur allrar kristalgrindar efnanna fremur en sem sveiflur stakra einda. Í bók A.H. Wilsons: *Thermodynamics and Statistical Mechanics*, sem út kom 1960, segir að allar þessar rannsóknir „...had a considerable influence on the early development of the quantum theory“, enda vísuðu þær veginn til hagnýtingar skammtakenningarinnar varðandi m.a. eðlisvarma annarskonar efna, fleiri eðliseiginleika, aflfræðileg kerfi, og grundvallaratriði varmafræðinnar.

35 Polaroid o.fl. skautunarsíur eftir 1920; sykurmælingar

35.1 Kristalla-ræktun o.fl.

Haldið var áfram tilraunum til að rækta stóra kristalla af natriumnítrati, sjá t.d. Stöber (1924), Kremers (1940), Bouhet og Lafont (1945) og West (1945). Eins og fram kom í kafla 33.3, voru miklar vonir bundnar við að það áratugum saman að nýta heila kristalla eða kristallabynnur úr því efni, í ljóstæki í stað silfurbergs. Þær tilraunir virðast að mestu hafa mistekist (Weinschenk 1925, bls. 15; Rinne-Berek 1953), því að kristallarnir voru linir, oft skýjaðir hið innra, og drógu mjög í sig raka þótt reynt væri að húða þá á ýmsan hátt. Halle (1921) segir einnig að ræktaðir saltpéturskristallar séu of litlir og óhreinir, og í svipaðan streng tekur Evans (1949) löngu síðar.

Eitthvað var reynt að framleiða silfurberg í rannsóknastofum: ekki hef ég kannað það að gagni, en til dæmis segja Nester og Schroeder (1967) að: „...no one has been able to successfully grow crystals of even moderate size...". Bennett og Bennett (1978, bls. 21) vitna í grein frá 1969 um ræktun silfurbergskristalla sem náðu þó aðeins 3-4 mm stærð. Hins vegar hófst upp úr 1925 ræktun á stórum gallalausum kristöllum til annarra nota í ljósfræði, svo sem úr ýmsum halíðum (LiF, KBr o.fl.) sem hleypa vel í gegnum sig útfjólubláum og innrauðum geislum (Kremers 1940). Eftir 1950 (Waesche 1960) var farið að búa til gallalause kvars-kristalla í miklu magni, til nota í ljóstæki en þó miklu fremur til annarrar framleiðslu svo sem þrýstirafmagns-sveifluka í nákvæmar klukkur, fjarskiptatæki, tíðnimæla og slík tæki.

Enn fleiri lausnir voru reyndar. Til dæmis voru gerðar tilraunir með skautandi ljósdreifingarsíur (dispersion filters), líkast til úr mylsnu einása kristallaðs efnis í glæru hlaupi eða trjákoðu (Bernauer 1930; Haase 1936-39; sjá einnig Schumann og Piller 1950, og Land 1951, bls. 959), en „ekki gekk rófan“ fremur en í ævintýrinu. Þess má geta, að C. Christiansen kannaði fyrstur ljóssiur af þessari gerð 1884, sjá Bennett og Bennett (1978) og grein mína í Tímariti H.Í. 1987.

Áfram var haldið að þróa glerspegla til skautunar ljóss þar sem það þótti hentugt, til dæmis í ljósfjöðrunar-rannsóknum (Smith 1933).

35.2 Herapathit og þróun Polaroid-þynna

Kristallar af joð-kínín-súlfati að nafni herapathit, sem menn vissu af síðan um miðja 19. öld (t.d. Haidinger 1853), höfðu fullkomnari eiginleika en turmalin að því leyti að hleypa öðrum þætti skautaðs ljóss í gegnum sig en gleypa hinn („dichroism“). Ekki tókst að finna betri efni skyld því né óskyld, þótt mikið væri reynt (sjá Haase 1936-39). Einnig voru snemma gerðar tilraunir til að framleiða stóra kristalla af herapathiti til að koma í stað Nicol-prisma í smásjám, turmalins í turmalin-töngum (Haidinger 1855b) og víðar. Einn þeirra sem vann á þessu sviði um 1930 var F. Bernauer (1930, 1935), sem skrifaði merkar ritgerðir um jarðfræði Íslands. Var Zeiss-ljóstækjafirmað farið að selja einkristalls-plötur úr herapathiti undir nöfnunum Herotar, Bernotar og Zeiss-Filterpolarisatoren upp úr 1930 (Grabau 1938; Schumann og Piller 1950) til nota við ljósmyndun (og e.t.v. í þrívíddar-smásjám og fleiru), en þær voru mjög viðkvæmar.

Víkur þá sögunni að E. H. Land, sem hafði á unglingsárum fengið áhuga á ljósfræði þegar leiðbeinandi í sumarbúðum 1922 kynnti þar skautun ljóss sem endurkastaðist frá borðplötu, með Nicol-prisma (McElheny 1998). Minnir það mjög á uppgötvun Malus (1808) sem lýst var í kafla 6.5. Land las sér síðan til í bókum Woods (1905) og annarra, og hóf 1927 að leita aðferða til að koma miklum fjölda örsmárra herapathit-kristalla fyrir í glærum celluloid-þynnunum þannig að allir sneru eins (sjá Land 1951, McElheny 1998). Fyrstu einkaleyfi hans á þessari framleiðslu eru frá 1933, en margskonar endurbætur komu von bráðar, þar með kristallar nýrra efna sem höfðu betri eiginleika en herapathit (Pollard 1936). Þynnurnar, sem nefndar voru „Polaroid“, stóðu Nicol-prismum verulega að baki að því leyti, að þær gleyptu einnig talsvert af því ljósi sem átti að fara í gegn. Sömuleiðis sást gegnum þær rauðleit skíma þegar átti að vera myrkur. Þessir gallar koma þó ekki mjög að sök í ýmissi notkun sem ekki útheimti mestu nákvæmni, samanber upptalningu í kafla 33.1. Aðrir kostir þynnanna miðað við Nicol-prismu vógu einnig gallana upp: þær voru ódýrar, sjónsviðið var miklu víðara, fyrirferð þeirra í tækjum var mun minni, og ekki þurfti að leiðrétta mynd- og litabjöggun (astigmatism o.fl., sjá Zirkl 1961) eins og Nicol-prismun t.d. orsökuðu í smásjám. Framleiða mátti þær í hvaða breidd sem var, þannig að í ljósflöðrunar-rannsóknunum var nú hægt að skoða stóra hluti alla í einu, og dugði stundum að hafa sellófan-umbúðapappír sem fjórðungsplötu ef með þurfti. Um leið var hægt að sleppa þeim linsum sem áður þjöppuðu ljósi frá hlutunum gegnum nokkurra fersentimetra prismu (sbr. útbúnað Kimballs í *Mynd* 27-4). Var þá gamla orðið „polariskop“ tekið aftur í gagnid fyrir slíkan skoðunarbúnað (Frocht 1941, Föppl og Mönch 1959).

Einn megin-tilgangur með þróun skautunarþynnanna fyrstu árin var sá að setja þær á kúpla bílljósa og í bílrúður, til þess að ljósin blinduðu síður aðra ökumenn (Grabau 1938; Land 1951, bls. 962; McElheny 1998). Það mál datt upp fyrir, ekki síst vegna þess að útlit vegarins og umhverfis hans varð þá framandi fyrir ökumenn; í staðinn tóku bílaframleiðendur upp há og lág framljós. Polaroid kom hinsvegar að miklu gagni í ljóssíur fyrir ljósmyndara m.a. við að draga úr truflandi endurkasts-ljósi (Pollard 1936) t.d. frá glerrúðum, sem er oft að miklu leyti línulega skautað. Af sömu ástæðu urðu Polaroid-sólgleraugu vinsæl meðal fisk-veiðimanna og eru enn, en hugmyndin um slíka notkun til að sjá niður í vatnsflöt á móti sól var ekki ný: í fyrsta árgangi *Comptes Rendus* 1835 (bls. 405-407) bendir F. Arago sjóliðum á það að hægt sé að sjá betur en ella til blindskerja með því að horfa gegnum turmalin-þynnu.

Endurbættar gerðir Polaroid-þynna voru komnar í framleiðslu um og upp úr 1940. Í þeim voru ekki herapathit-kristallar, heldur lífræn fjölliðuefni (polyvinyl alkóhól o.fl.) úr löngum samsíða sameindum (Land 1951, McElheny 1998). Við litun með joði verða þessar sameindir „dichroic“, eins og H. Ambronn og fleiri höfðu fundið og rannsakað ítarlega í öðrum efnunum

löngu fyrr, sjá kafla 29.9. Nýju þynnurnar urðu brátt algengar í bergfræðismásjám (sjá t.d. Hallimond 1944, Hallimond og Taylor 1946).

Hér má einnig segja frá því að menn höfðu lengi áttað sig á að skautað ljós mætti nota í sambandi við stereoskóp, þ.e. tæki til að skoða samtímis tvær ljósmyndir af sama hlutnum þannig að hann sæist í þrívídd. J. Anderton fékk breskt einkaleyfi á tækni í þessu skyni 1891 og bandarískt 1895 og sýndi almenningi myndir á tjaldi. Hallandi glerplötur voru í sýningarvélunum tveim og í fyrirferðarmiklum gleraugum sem áhorfendur báru. Tæknin var endurvakin um 1940 með tilkomu Polaroid-þynnanna (sjá t.d. Grabau 1938, Lipton 2001), og á tímabili kringum 1950 var talsvert framleitt af þrívíddarmyndum og síðar jafnvel kvikmyndum (McElheny 1998) til að horfa á með þeim. Þrívíddar-kvikmyndirnar reyndist þó brátt of dýrt og erfitt að sýna. Sérstök málmhúðuð sýningartjöld þurfti til (því að skautun ljóssins eyðist að miklu leyti á venjulegum tjöldum), svo og tvær sýningarvélar sem stækkuðu myndina nákvæmlega jafnmikið og gengu nákvæmlega í takt. Það atriði gat verið vandkvæðum bundið m.a. í ljósi þess að filmur slitnuðu oft í sundur á þessum árum og þurfti þá að skeyta þær saman á ný.

35.3 Sykur­mælingar með öðrum tækjum en polarimetrum

Hér má fyrst huga að mati á verðmæti hrá­sykurs frá framleiðendum áður en polarimetrar komu til sögunnar í verslun með hann. Frá um 1860 var í því víða stuðst við þá reynslu að sykur væri því hreinni sem hann væri hvítari. Í Bandaríkjunum voru t.d. keypt árlega frá Hollandi vökvaglós með einum 25 litaafríggðum frá dökkbrúnu yfir í hvítt, til samanburðar við liti í hverjum skipsfarmi sem barst frá löndum Karíbahafsins. Þessir „Dutch Standard“ litir voru einnig lagaleg undirstaða tollheimtu, sem var ekki lítið mál þar eð umtalsverður hluti af tolltekjum alríkisins var af sykurinnflutningi. Óánægja aðila með litar­aðferðina var orðin veruleg um 1880, því að bæði breyttust aðferðir við hrá­sykursframleiðsluna þannig að liturinn endurspegladi ekki alltaf gæði vörunnar, og eins freistuðust seljendur mjög til að lita sykurinn svo hann lenti í lægri tollflokk. Eftir miklar deilur m.a. í réttarsölum, var í vaxandi mæli treyst á polarimetra við hrá­sykurs­mat vestra frá um 1883. Telja sumir sagnfræðingar það hafa átt þátt í flutningi þungamiðju sykurverslunar frá Havana til New York. Áfram voru þó litastaðlarnir notaðir við mat á sumum tegundum innflutts sykur­massa, í Kanada jafnvel fram yfir 1930.

Nákvæmar ljóssnúning­smælingar á lausnum unninna sykura­furða til ákvörðunar á magni hinna ýmsu sykurtegunda í þeim voru ekki alveg hristar fram úr erminni. Losna þurfti við litarefni, svifefni og önnur óhreinindi úr sýnum með síun eða fellingu og oft meðhöndla þau með sýrum (síðar lífhvötum) eða upphitun, kvarða og stilla tækin vandlega, hreinsa sýnaílát, halda réttu hitastigi við mælinguna o.fl. Við mælingar á sykura­furðum virðast þrjár aðferðir hafa getað keppt við polarimetrana (sjá t.d. Saillard 1913, bls. 34-64):

1) Ýmsar efnafræðilegar aðferðir til mælinga á sykur­magni voru sífellt í þróun á seinni hluta nítjándu aldar og fram eftir þeirri tuttugustu (Bates o.fl. 1942, kafla IX). Einkum fólust þær í útfellingu á koparsamböndum, eins og fyrst var lýst af H. Fehling 1849. Hátt í 30 útfærslur á þeirri aðferð voru til skv. Rolfe (1905). Má ráða af grein Hudsons (1910a) að sykur­magnsmælingar með Fehl­ings­lausninni séu álíka algengar í sykuriðnaði og polarimeter­mælingar, en Cajori (1922) segir polarimetra nær ávallt notaða ef greina átti lausn sem innihélt fleiri en eina sykurtegund. Shaffer og Hartmann (1921) lýsa þægilegri kopar­joð­aðferð til mælinga á glúkósa í margskonar vökvum, og Cajori (1922) kynnir joð­aðferðir til að mæla fleiri sykrunga. Önnur dæmi um beitingu efnafræði­aðferða voru litmælingar á samböndum sykursins eða annarra kolvetna við pikrinsýru (Dehn og Hartman 1914), og litmælingar byggðar á afoxun

ferricyaníðs (frá um 1923). Við könnun á sykri í þvagi var nokkuð algengt að láta hann gerjast og mæla rúmmál koldíoxíðs sem myndaðist (t.d. Struers 1925, bls. 415-416).

2) Mælingar á eðlismassa sykurlausna með ýmiskonar flotvogum (fundnum upp af Brix, Baumé, Westphal, o.fl.) og vigtun íláta (pyknometra o.fl.) af þekktu rúmmáli voru handhægar, en gáfu ekki ekki eins nákvæmar niðurstöður og polarimeter-mælingar.

3) Mælingar á brotstuðli lausnanna (refractometrie) voru mjög að sækja á um 1910, eftir að sýnt var að þær gátu tekið eðlismassamælingum fram.

Mögulegt er, að upp úr 1920 hafi allar þessar aðferðir verið orðnar nógu útbreiddar til að draga talsvert úr eftirspurn eftir polarimetrum fyrir rannsóknir og eftirlit í sykur- og matvælaíðnaði, og í sykurviðskiptum. Varðandi tollheimtu er þó ljóst af bók Bates o.fl., að í bandarískum tollareglum um sykur bæði frá 1931 og 1937 er mjög treyst á polarimetra með Nicol-prismum og kvarsplötum. Hvað innflutning og framleiðslu sykurs í Bretlandi áhrærir, má ráða hið sama af stafrænni útgáfu dagblaðsins The Times of London á árabílinu 1920-32 sem ég hef kannað.

36 Röntgengeislar og fleiri rannsóknir á geislun og efnum 1895-1930

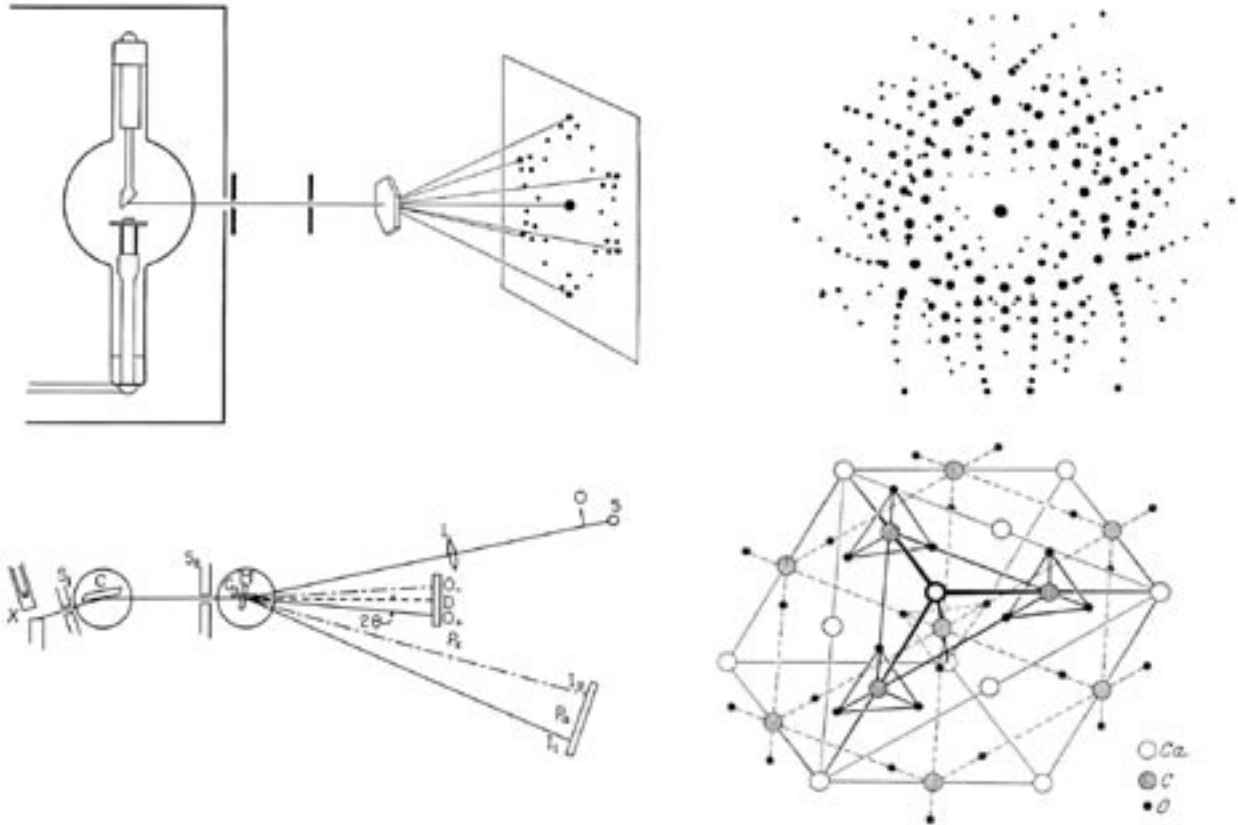
36.1 Röntgen

Enn átti silfurbergið íslenska eftir að koma víða við sögu á nýju og mikilvægu sviði raunvísinda, sem var notkun röntgengeisla í kristallafræði. W.C. Röntgen (sjá Viðauka 5) var sjálfur áhugasamur um kristallafræði, og einnig gerði hann rannsóknir með Nicol-prismum, til dæmis við að kanna Kerr-rafhrif (sjá 23. kafla) og sýna fram á að Faraday-hrif gátu orðið í lofttegundum (Kundt og Röntgen 1879a,b). Röntgen (1896) nefnir það í fyrstu grein sinni um geisla þá sem við hann eru kenndir, að hann hafi prófað hvernig þeir bærust gegnum íslenskt silfurberg og að þeir valdi ljómunum í því. Hann taldi geislana geta verið langsum-bylgjur. Í þeirri grein mældi hann styrk flúrljómunar í öðru efni af völdum X-geisla sinna með Weber-ljósmæli; óvíst er þó hvort það var 1891-tegund mælisins (með Nicol-prismum, sjá í kafla 29.4) eða eldri gerð. Röntgen (1907) prófaði síðar hvort geislar hans hefðu áhrif á rafleiðni kalkspats. Aðrir reyndu að nota silfurberg við rannsóknir á geislavirkni (radioactivity), sem uppgötvuð var 1896, en ekki hafði það neina sérstaka eiginleika að því leyti.

36.2 Dreifing röntgengeisla, bygging kalkspats

C. G. Barkla (1904) birti fyrstu athuganir á dreifingu röntgengeisla frá efnum sem sýndu (sbr. teikninguna í *Mynd 27-1*) að þeir höfðu skautunar-eiginleika svipað og ljós. Á næstu árum fékkst það staðfest af H. Haga, E. Bassler, J. Herweg o.fl. með ýmsum aðferðum að þeir væru bylgjur, en ekki fundu menn strax leið til að mæla bylgjulengdir þessara geisla.

Á árinu 1911 varð ljóst að frumeindir væru samsettar úr örsmáum kjörnum með rafeindum á braut í kring. Ungur eðlisfræðingur í doktorsnámi, P.P. Ewald, hafði valið sér sem verkefni um það leyti að rannsaka kennilega hvernig frumeindirnar í kristöllum orsökuðu tvöfalt ljósbrot. Hann spurði annan eðlisfræðing, M. v. Laue sem var bæði vel kunnugur bylgju-ljósfræði og kristallafræði úr námi sínu, hvað mundi gerast ef ljósbylgjur sem féllu á kristall, hefðu bylgjulengd svipaða bilinu milli eindanna. Laue áttaði sig þá á að kristallinn gæti verkað á röntgengeislana á sama hátt og ljósgreiða (gitter) á sýnilegt ljós. Laue og samstarfsmenn sýndu svo fram á slík hrif vorið 1912, og vakti uppgötvunin mikla athygli (*Mynd 36-1*). Um þetta er oftast notað á ensku hugtakið ljósbeygja (diffraction), sem á yfirleitt við það þegar ljós lendir



Mynd 36-1. Að ofan: Á árinu 1912 sendi M. v. Laue mjóan röntgengeisla gegnum kristalplötur. Með ljósmyndapappír á bak við sást að geislarnir dreifðust í ákveðnar áttir, því að kristallinn verkar eins og þrívíð ljósgreiða. Hægra megin er mynd af þessu tagi (úr Rinne 1922b) fyrir kalkspat, sem var eflaust eitt af fyrstu efnunum sem þannig voru prófuð. Að neðan t.v.: Afstöðu frumeindanna í kristalgrindinni má finna með úrvinnslu röntgengeisla-mynstra eins og að ofan. Betri niðurstöður fást þó ef geislarnir eru látnir endurkastast frá sléttum fleti kristallsins C, og θ o.fl. horn eru mæld. Myndin sýnir tækjauppsetningu Wadlunds (1928) með kalkspati (e.t.v. íslensku), sem gaf nákvæmt gildi á bilinu milli kristalflata þess og þar af leiðandi á Avogadros-tölunni. G er ljósgreiða. T.h.: Teikning Ewalds (1923) af byggingu grundvallareiningar kalkspat-kristalls; svipaða mynd hafði raunar Bragg (1914) þegar birt.

á „fastri“ stórrri en endanlegri hindrun. Orðið dreifing (scattering) hentar hinsvegar betur fyrir litlar „lausar“ hindranir eins og frumeindir. Notkun þessara hugtaka var nokkuð á reiki í bókum framan af öldinni, og einnig var þá oft talað um endurkast (reflection) röntgengeislanna.

Með því að mæla stefnubreytingu röntgengeisla í kristölluðu efni (*Mynd 36-1*), mátti finna bylgjulengd þeirra sem hlutfall af heppilegu bili milli frumeinda í kristöllum. Fyrirbrigðið var þó miklu flóknara en fyrir ljósgreiðuna og sýnilega ljósið að því leyti, að í kristöllum koma hinir stefnubreyttu geislar frá eindum í þrívíðri grind, ekki bara frá einum fleti með samsíða línunum. P.P. Ewald birti á árunum 1913-17 kenningu sína um þetta, sem kölluð var „dynamische Theorie“. Hann útvíkkaði hana þar með nýjum hugtökum og fleiri lögðu hönd á þann plóg, svo sem G.H. Darwin og C.W. Oseen. Svo merk sem þessi kenning var, var sá hængur á henni að hún dugði bara á kristalla sem voru fullkomlega reglulegir. Sjá meira um það í kafla 36.3. Á þessu árabili komu fram endurbætur á mælitækni Laues og féлага, einkum frá feðgunum W.H. og W.L. Bragg. Notaðir voru ýmist stakir heilir kristallar eða kristallamylna til að dreifa röntgengeislunum. Þar eð nær allir þessir kristallar voru langt frá því að vera fullkomlega reglulegir að byggingu, var þróuð önnur túlkunaraðferð, „kinematische Theorie“, og notuð fyrir þá næstu áratugi.

Kalkspat var eitt af fyrstu efnunum sem prófað var að láta dreifa röntgengeislum, og gekk greiðlega að áætla meginrætti í byggingu þess út frá stefnubreytingu geislanna (W.L. Bragg 1913, 1914). W.H. Bragg (1915, bls. 268 neðanmáls) segir byggingu kalkspats vera sérdeilis heppilega fyrir úrvinnslu röntgengeisla: „...no case has yet occurred in which the opportunities for comparison are so direct as in calcite, with its different sets of equally spaced planes“. Við túlkun hinna flóknu stefnubreytingar-mynstra röntgengeislanna á þessum fyrstu árum hjálpaði það mjög til að hafa góða kristalla af einsmynda málm- (s.s. járn- og mangan-) karbonötum til samanburðar við kalkspat (sjá t.d. W.L. Bragg 1914; Jaeger og Haga 1916; Wyckoff 1920, 1922), og varð uppröðun frumeindanna í kalkspati brátt þekkt all-nákvæmlega (Ewald 1923, *Mynd 36-1*). Þá mátti fara að spá í það hvernig uppröðunin orsakaði ýmsa eiginleika viðkomandi efna. Þannig velti t.d. W.L. Bragg (1924) því fyrir sér, hvernig hin mismunandi afstaða kalsium-, kolefnis- og súrefniseinda í kalkspati og aragoniti (sem bæði hafa efnaformúluna CaCO_3 eins og komið hefur fram) útskýri mismunandi ljósbrot þeirra.

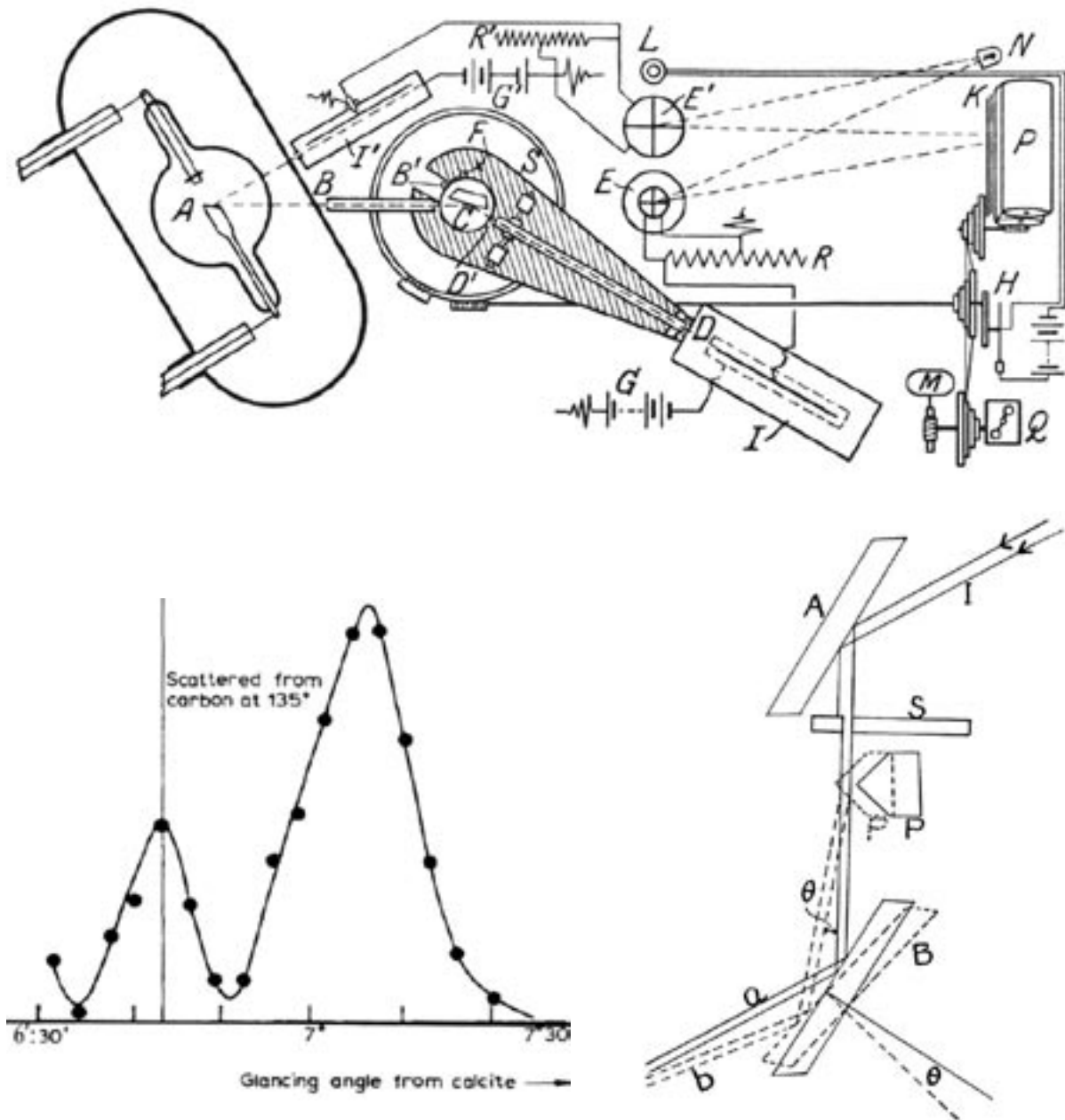
Síðari rannsóknir (sjá t.d. Wahlstrom 1969) sýna að hinir sérstæðu ljósbrots-eiginleikar kalkspats eru tengdir flatri lögun CO_3 -hópanna. Á sama hátt hefur mátt skýra það hve auðveldlega silfurberg klofnar eftir megin-stefnum sínum, með óvenju veikum kröftum milli frumeindanna á flötum er þannig liggja (Beckenkamp 1923, o.fl.). Sú staðreynd kom sér einmitt vel í röntgengeisla-rannsóknum, því að átök við klofnun eða slípun efna geta aflagað þau sameindalög sem næst yfirborðunum liggja. Bragg og Chapman (1924) reyndu síðan með þokkalegum árangri að finna ástæður þess að kristallahorn trigonal málmkarbonatanna eru mismunandi.

Ýmsar rannsóknir voru gerðar á dreifingu röntgengeisla frá þeim kristöllum sem sýna optiska virkni (svo sem kvars og zinnober) til að finna skýringu á orsökum þess fyrirbrigðis. Gekk það upp og ofan, sjá m.a. Born (1935).

36.3 Silfurberg sem kvarði fyrir röntgengeisla

Fljótlega eftir 1913 varð ljóst, að traustan lengdarkvarða, vel aðgengilegan öllum rannsóknastofum, þyrfti að hafa fyrir rannsóknir með röntgengeislum. Með kvarðanum mætti mæla nákvæmlega bylgjulengdir röntgengeislunar sem rannsökuð væri (m.a. í þeim tilgangi að finna orkustig innri rafeinda í frumeindum) eða notuð við mælingar á kristöllum. Bylgjulengdirnar voru taldar alltof stuttar til að búa mætti til nothæfa ljósgreiðu fyrir þá með rispun málmplötu.

Í leit að slíkum kvarða beindust augu margra fyrst að einföldum kubiskum kristöllum úr tveim frumefnum, eins og NaCl (matarsalt, steinsalt), KCl (sylvín) eða ZnS (zinkblendir). Bilið milli kristalplana í þeim er auðvelt að reikna út, ef eðlismassi efnisins og atómþyngd frumefnanna eru þekkt. Þetta var gert, en þau dugðu alls ekki eins vel og kalkspat. Compton (1916, sjá *Mynd 36-2*) talar t.d. um „extremely perfect faces“ í kalkspati, og ítrekar (Compton 1918) að „...calcite is more perfect and is less apt to contain inclusions than is rock-salt“. Saltið gaf sterkara endurkast geislanna en kalkspat og sumir komust upp á lagið með að velja nothæf sýni af því (t.d. Siegbahn 1919, bls. 605). Hinsvegar hafði það m.a. óþægilega háan hitaþanstuðul og varð því kalkspatið fyrir valinu hjá mörgum sem lengdarstaðall frá um 1920 fyrir röntgengeisla með stuttar bylgjulengdir. Siegbahn (1933) varð raunar afhuga matarsaltinu þegar í ljós kom með bættum tækjakosti að „keine grössere Linienschärfe erhalten werden konnte“ með því, og segir að kalkspatkristallar „für Präzisionsmessungen sowie für Linienstrukturuntersuchungen am häufigsten Verwendung gefunden haben“. Þarna á hann sjálfsagt einkum við silfurberg sem



Mynd 36-2. Að ofan: Stefnubreyting röntgengeisla við speglun frá kristalli C var oft mæld með jónunarklefa I á löngum armi sem snúa mátti kringum C. Út úr því og grindar-stuðlum kristallsins finnast bylgjulengdir geislanna. Þetta eru tæki A.H. Comptons (1916), sem notaði oft silfurberg. P er síriti. Mynd úr Siegbahn (1924). Að neðan t.v.: Með því að láta mjóan röntgengeisla dreifast á leið sinni gegnum t.d. grafit áður en hann lenti á kristallinum C, fann Compton (1923) að hluti geislans (sá hægra megin) hafði fengið lengri bylgjulengd en áður. Staftaði það af árekstrum geislanna við rafeindir efnisins í samræmi við kenningu Einsteins um skömmun ljóseinda. Breytingin í bylgjulengd er um og innan við 1%, og veitti ekki af að hafa góða greinikristalla. Myndin er úr erindi Comptons við afhendingu Nóbelsverðlauna 1927 (www.nobelprize.org). T.h.: Sérstaklega nákvæmar mælingar á stefnu og bylgjulengd röntgengeisla fengust ef hann speglaðist frá tveim ferskum klofningsflötum kristalls, hér A og B. Með því að þrengja geislann með mjórri rifu S og síðan skjóta breiðum ál-fleyg P inn í hann, tókst Davis og Slack (1926) fyrstum að sýna fram á “ljósbrot” röntgengeisla með prisma. Þar eð brothornið var aðeins nokkrar bogasekúndur, var silfurberg notað í A og B.

sýni af (frá Íslandi, Montana, Spáni, Argentínu og víðar) hafi m.a. verið dregin upp úr hirslum safna og rannsóknastofnana til starfa á hinum nýja vettvangi röntgengeislanna.

Í sumum mikilsverðum rannsóknum á endurkasti röntgengeisla mátti ná mun meiri greiningarhæfni (resolution) en ella með því að nota tvo greinikristalla hvorn á eftir öðrum og með nákvæmlega samsíða yfirborðsfleti (*Mynd 36-2*). Í aðferðinni sem var uppfundin af A.H. Compton 1917 og varð „an invaluable tool“ á þessu sviði (skv. Parratt 1932) voru langoftast notaðir kalkspatkristallar. Davis og Stempel (1921; sjá Hildebrandt 1995) segjast til dæmis hafa klofið í sundur a „clear specimen of Iceland spar“ til þeirra nota, meðan Wagner og Kulenkampff (1922) gefa matarsaltskristöllum þá einkunn, að í þeim séu „gute Spaltflächen... äusserst schwierig zu erhalten.“ Af öðrum umsögnum um kalkspat í rannsóknum á og með röntgengeislum má nefna: „Der Kalkspat besitzt etwa dieselbe Dispersion wie Steinsalz und ist viel leichter in guten Exemplaren zu erhalten“ (Siegbahn 1924, bls. 85), „...calcite crystals are much more nearly perfect than...rock salt“ (Compton o.fl. 1925), og „...for calcite forms very perfect crystals“ (Havighurst 1926). Cooksey og Cooksey (1930) fengu „a nearly perfect specimen of Iceland spar“ úr safni Yale-háskóla til að nota við nýja ákvörðun á bilinu milli kristalflata þess; mældu þeir þá stefnubreytingu geisla með nákvæmni betri en 0,1“ (sjá í því sambandi tilvitnun í Havighurst 1926). Sumir töldu kvars vera vel brúklegt sem bylgjulengdarstaðal, t.d. Wyckoff (1926) en aðrir sögðu það viðsjárvert vegna „variation in internal structure“ (Tu 1932).

Kalkspat var því einna algengasti staðal-greinikristallinn fyrir nákvæmar mælingar á bylgjulengdum röntgengeisla fram yfir 1940 eða jafnvel 1950 (sjá t.d. Wadlund 1928, *Mynd 36-1*, Bearden 1931b, 1935, Birge 1941). Bearden notaði þannig til mælinga sinna tvo kristalla „split from a block of Iceland calcite“. Ievins og Straumanis (1940) gefa kalkspatinu meðmæli, vegna þess að matarsalt sé „seines mosaikartigen Aufbaues wegen nicht für Präzisionsmessungen geeignet“. Batuecas (1950) segir að í kalkspati séu eðlismassi, kristalflata-bil og geometriskir eiginleikar þekkt með meiri nákvæmni en í nokkru öðru efni. Yarwood (1963, bls. 633) nefnir að við bylgjulengda-stöðlun röntgengeisla eftir 1930 hafi menn fremur notað kalkspat en matarsalt, því rakadrægni hins síðarnefnda spillir yfirborðsflötum þess.

Á árunum fram til um 1932 var hin svonefnda „dynamische Theorie“ úr síðasta kafla þróuð áfram, en fáir kristallar reyndust vera nógu fullkomlega reglulegir til þess að hægt væri að prófa hana. Tókst það „fast allein dank der besten Exemplare des isländischen Kalkspats“ (Borrmann 1988, sjá einnig í Brill 1962 og Hildebrandt 1995) auk mælinga á t.d. demöntum og zinkblend. Þarna voru menn sammála álitu E. Mascarts frá 1872 sem nefnt er í kafla 13.1. Síðan gerði G. Borrmann merkar uppgötvanir varðandi bylgjuvíxl röntgengeisla í fullkomnum kristöllum um 1940, með því að senda þá gegnum „eine kleine Stufe isländischen Kalkspats“ (Hildebrandt 2002) sem honum hafði verið útvegað af steindasafni. Í stuttu máli komst miklu meira af geisluninni í gegnum silfurbergið í tilraunum af Laue-tegundinni heldur en reikna mátti með í samanburði við önnur kristölluð efni. Vegna styrjaldarástandsins birtust þær niðurstöður ekki á prenti, en Borrmann (1950) hélt rannsóknum sínum á sama silfurbergsmolanum og öðrum kristöllum áfram frá 1948. Fékk hann þá enn merkar niðurstöður varðandi dynamisku kenninguna, sem ýmsir áttu bággt með að trúa en fékkst staðfest m.a. með mælingum um 1955 á „a 32 mm thick Icelandic calcite plate of the highest perfection“ (Hildebrandt 1995).

Tilraunir til að rækta stóra hreina kristalla t.d. af salti skiluðu fyrst árangri um 1925 (sjá D.S.B. um R. Pohl), og upp úr 1950 tókst síðan að rækta mjög hreina kristalla sem voru reglulegri en silfurbergið, úr kísli, áli, germanium og fleiri efnun. Þessi nýju efni nýttust betur í mælingar til samanburðar við kenninguna, og var hægt að þróa hana mun lengra en áður. Nýju efnin tóku þá jafnframt við staðals-hlutverki silfurbergsins í bylgjulengdagreiningu röntgengeisla. Af þeim reyndust hálfleiðararnir kísill og germanium hafa afar mikilsverða eiginleika, ekki

síst þann hvernig örlítið magn tiltekinna íbótarefna breytir orkustigum rafeindanna og þar með rafleiðninni. Sú þekking sem hafði þá þegar aflast við beitingu dynamisku kenningarinnar á röntgengeisladreifingu í silfurbergi og öðrum nærri fullkomnum kristöllum úr náttúrunni, jók skilning á eðli þessara hálfleiðara og átti þar með þátt í að flýta tilkomu rafeindatækni- byltingarinnar á síðari hluta 20. aldar. Af heimildum er síðan ljóst, að dynamiska kenningin hefur einnig gegnt miklu hlutverki í byltingunni sjálfri, því að henni var beitt við rannsókn margskonar annarra fullkominna manngerðra kristalla (með bæði venjulegum röntgengeislum og svonefndri synkrotron-geislun): hálfleiðara, þrýstirafhrifa-kristalla (s.s. kvars), ferroelektriskra kristalla, ljósrofunaefna, segulefna, kristalla fyrir laser-tilraunir, o.fl.

Fleiri áfanga sem náðust í röntgengeislarannsóknunum, má að ýmsu leyti þakka kalkspati. Þannig tókst Davis og Terrill (1922) einna fyrst að meta „ljósbrót“ slíkra geisla í efni, nefnilega silfurbergi. Stefnubreytingin er afar lítil vegna þess að brotstuðullinn er mjög nálægt 1 (og í raun minni en 1). Bar niðurstöðum saman við fræði. Síðar tókst að mæla stefnubreytingu röntgengeisla við brotnun þeirra í málmprismum; hún er aðeins nokkrar bogasekúndur. Í einni slíkri tilraun var notaður fyrrnefndur tvöfaldur rófgreinir Davis og Stempels (1921) með helmingum nýklofins silfurbergskristalls (*Mynd 36-2*), og segja höfundar (Davis og Slack 1926) gæði yfirborðsflatanna hafa ráðið úrslitum um að tilraunin heppnaðist. Enn nákvæmari niðurstöður um þennan brotstuðul og fleira fengust með nýjum rófgreini Comptons (1931) sem í voru tveir kristallar „freshly cleaved from an optically perfect sample of Iceland spar“. Við prófun á áhrifum hitastigslækkunar á endurkasts-eiginleika kristalla fyrir röntgengeisla notaði Nies (1926) „ein klares...Spaltstück isländischen Kalkspats“.

C.H. Eddy og samstarfsmenn notuðu kalkspat í röntgentæki sín, er þeir hófu könnun á gagnsemi röntgengeisla til efnagreininga um 1930 (t.d. Eddy o.fl. 1929). Segja þeir aðferðina geta greint snefilefni í sýnum, allt niður í 0,0001%.

Um 1924 stakk L. de Broglie upp á að efnisagnir gætu hegðað sér eins og bylgjur. Tilraunir til að sýna fram á bylgjueiginleika rafeinda með því að láta þær dreifast frá málmkristöllum, fóru að skila árangri um 1927. Erfiðara er að nota einangrandi efni í því skyni vegna þess að þau hlaðast upp, en Kikuchi og Nishikawa (1928) sýndu fram á öldubeygju hraðfara rafeinda á klofningsfleti kalkspats, fyrstu slíkra efna.

Um 1936 voru menn byrjaðir að beina straumi nifteinda á vökva og föst efni, og skoða hvernig þær dreifðust við það. Hefur sú tækni síðan reynst mikilvæg til könnunar á ýmsum atriðum í byggingu efna. Einnig kom brátt í ljós að sumir kjarnar gleyptu nifteindir og gátu orðið geislavirkir við það, en þau ferli voru mjög háð hraða nifteindanna. Kalkspat var einn kristallanna sem komu við sögu á byrjunarárum þessara rannsókna, sjá t.d. grein eftir Rasetti (1940) sem notaði „a perfect specimen of optical Iceland spar“ í hluta rannsóknar sinnar. Ekki minnkaði áhuginn á þessu sviði eftir beislun kjarnorkunnar, sem grundvallaðist einmitt á því að úrankjarnar gleyptu hægfara nifteindir. Til dæmis könnuðu þá Fermi og Marshall (1947) dreifingu nifteinda á ferð gegnum kalkspat og mörg fleiri efni, og Havens o.fl. (1948) fengu lánað til samskonar rannsókna stórt Nicol-prisma, hugsanlega ættað frá J. Tyndall mörgum áratugum áður.

36.4 Lengdir innan kristalla

Útreikningar á stærð grundvallar-bilsins d milli kristalflata í öllum kristölluðum efnun byggðu á því að menn þekktu tölu Avogadros, þ.e. fjölda frumeinda í einu móli. Sú tala fékkst með því að deila upp í rahleðslu eins gramm-ekvivalents af efni (svonefndan Faraday-fasta)

með tölugildinu á hleðslu rafeindarinnar (sem er oft kallað e). Síðarnefnda talan var lengi vel einungis þekkt úr mælingum R.A. Millikans, sem birtust 1910-17. Þar var rafeindarhleðslan mæld út frá fallhraða hlaðinna olíudropa í lofti, og voru þær mælingar ekki nákvæmari en svo að d var aðeins þekkt með 4 stöfum (sett $2,814 \cdot 10^{-8}$ cm fyrir matarsaltið). Afstæðar mælingar í röntgen-rófgreiningu náðu fljótlega 6 stafa nákvæmni (Siegbahn 1924, bls. 20), og var því leitað nýrra leiða til kvörðunar. Siegbahn skilgreindi nýja mælieiningu, X-unit, sem síðar var nefnd í höfuðið á honum sjálfum, út frá kristalflata-bili silfurbergs.

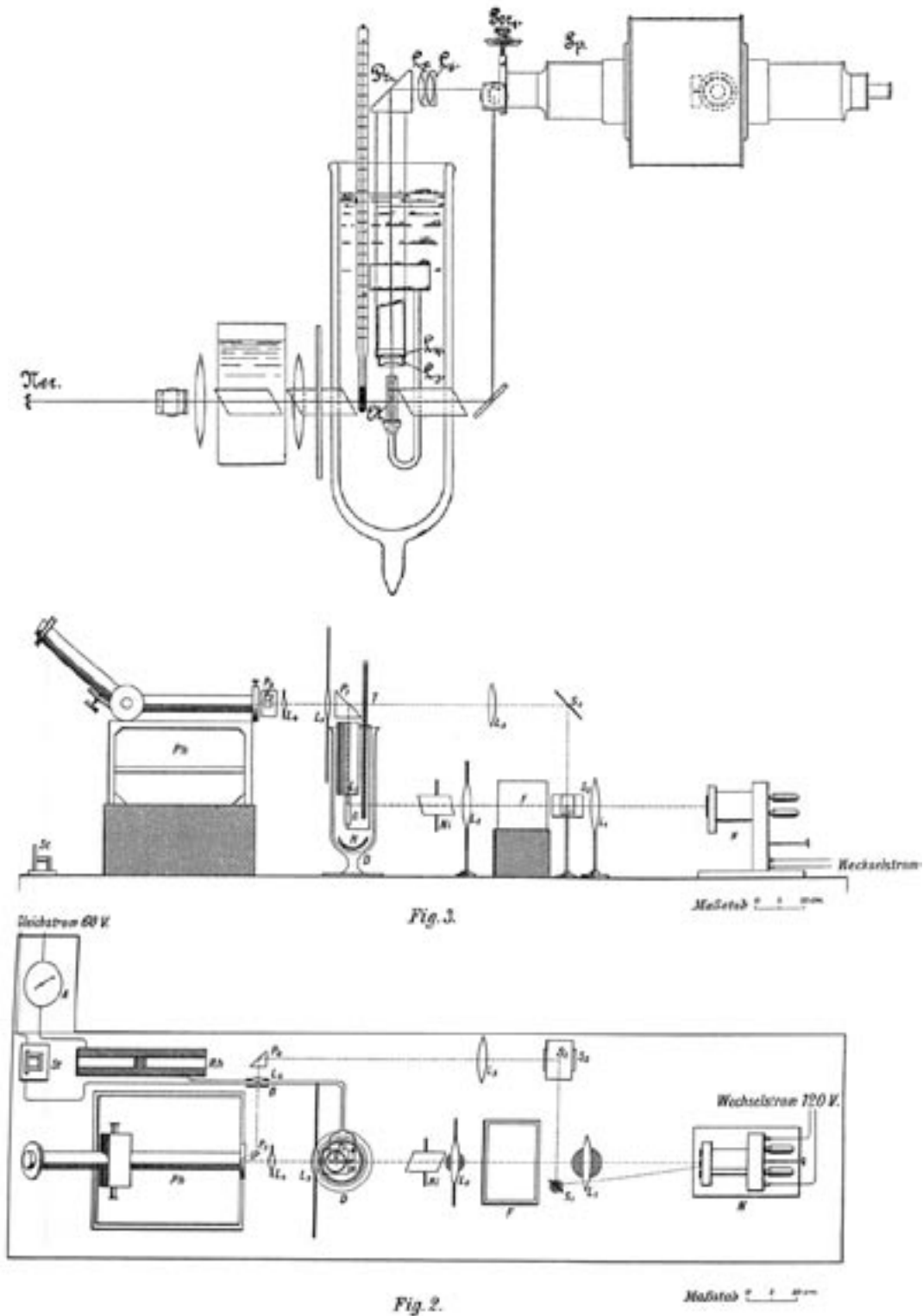
Tókst á árinu 1925 að mæla bylgjulengdir röntgengeisla með því að láta þá endurkastast frá greiðu-rispaðri plötu undir innfallshornum nálægt 90° (sjá Yarwood 1963). Bar niðurstöðunum ekki alveg saman við þau gildi sem áður var reiknað með. Þá benti E. Bäcklin á það í doktorsritgerð 1928, að rafeindarhleðsla Millikans hlyti að vera of lág um 0,4% eða svo, og var það á endanum rakið til rangrar formúlu varðandi viðnám lofts gegn falli olíudropanna í tilraun Millikans. Við þetta breyttist til dæmis d matarsalts úr 2,814 einingum í 2,8197. Á næstu árum var því farið öfugu leiðina: rafeindarhleðslan var reiknuð út úr eiginleikum kalkspats eftir að kristalflata-bil þess var fundið með samanburði við rispaða plötu (t.d. Bearden 1931a, 1935). Bollman og DuMond (1938) prófuðu sérstaklega, hvort það örþunna yfirborðslag í tveim silfurbergssýnum (ekki sagt hvaðan þau voru) sem kemur við sögu í speglunartilraununum, hefði sömu eiginleika og sýnin í heild. Reyndist svo vera, sem gaf „... clinching justification for the validity of the well-known precise determinations of e by Bragg reflection from the surface of macroscopic pieces of calcite“. Birge (1941, bls. 119) segir olíudropa-aðferðina enn ekki gefa rafeindarhleðsluna með sambærilegri nákvæmni, einkum vegna óvissu í loftmótstöðunni.

Rafeindarhleðslan skipti síðan máli við ákvörðun annarra stærða. Til dæmis var ekki hægt að finna massa rafeindarinnar beint, en margar aðferðir gátu gefið hlutfall massans og hleðslunnar nákvæmlega. Þannig átti silfurbergið sinn þátt í framförum varðandi þekkingu á rafeindarmassanum.

36.5 Grundvallarstærðir eðlisfræðinnar; bygging frumeinda

Silfurbergið hafði fleiri mikilvæg hlutverk í tengslum við röntgengeislunina. Eitt var það, að mæla þurfti sem nákvæmlegast stuðul þann, h , sem M. Planck gerði fyrstur grein fyrir 1901 og er grunnstærð skammtafræðinnar. Þótt einingar stuðulsins h innihaldi ekki rafhleðslu, var ekki gott að mæla hann beint, heldur fékkst stærðin h/e gjarna úr mælingum á ýmsum fyrirbrigðum tengdum rafeindum. Eftir að Einstein (1905a) setti fram þá kenningu að ljós hefði eiginleika agna með orkuskammta $h \cdot f$, reyndu menn ekki síst að meta gildið á h út frá ljósröfun málma, en það gekk böxulega í byrjun vegna ýmissa skekkjuvalda.

R.A. Millikan tókst að útrýma helstu skekkjuvöldunum í frægri syrpu mælinga á ljósröfun alkalimálma sem birtist 1914-16. Komu niðurstöður vel heim við það gildi á h sem Planck fékk úr upphaflegri túlkun sinni á ljósgeislun heitra hluta (black-body radiation). Ekki er eins vel þekkt nú, að um svipað leyti gáfu t.d. mælingar Duanes og Hunts (1915), Websters (1916) o.fl. h með ágættri nákvæmni út frá lágmarks-spennu þeirri sem rafeindir í tómarúmi þurftu að fara í gegnum til að geta framleitt röntgengeisla af tiltekinni bylgjulengd í árekstri við málmlöt. Í þessari „öfugu ljósröfun“ var bylgjulengd röntgengeislanna mæld með kalkspatkristalli. Eins og fram kemur t.d. hjá Millikan (1917a) er ljóst, að gott samræmi milli gilda á h fenginna með mjög mismunandi aðferðum styrkti hin nýju sjónarmið eðlisfræðinnar í sessi á öðrum og þriðja áratugnum, þegar þau voru í örri þróun og sumum (þar á meðal Millikan sjálfum, sjá t.d. Nóbelerindi hans 1923) fannst fræðilegur grunnur skammtakenningarinnar vera ótraustur.



Mynd 36-3. Efri mynd: Tilraun Onnes og Keesoms (1908) um dreifingu ljóss í sýni Et af etyleni (í hitabrusanum) nálægt kritiska hitastiginu. Ljósíð kemur frá lampanum Ner vinstra megin. Þrjú Nicol-prismu eru notuð við mælingarnar, sem fræðilegar rannsóknir Einsteins (1910) á þessu sviði tengdust svo. Neðri myndir: Fürth (1915) staðfesti niðurstöður Einsteins (1910) “mit grosser Annäherung” með mælingum á ljósdreifingu í blöndu fenóls og vatns. Í tækjunum sem hér sjást bæði að ofan og frá hlið, kemur ljós frá lampa N gegnum Nicol-prismað Ni og sýni í glervasanum D. Það er síðan mælt með König-Martens ljósmælinum Ph, sem í eru Nicol- og Wollaston-prismu úr silfurbergi.

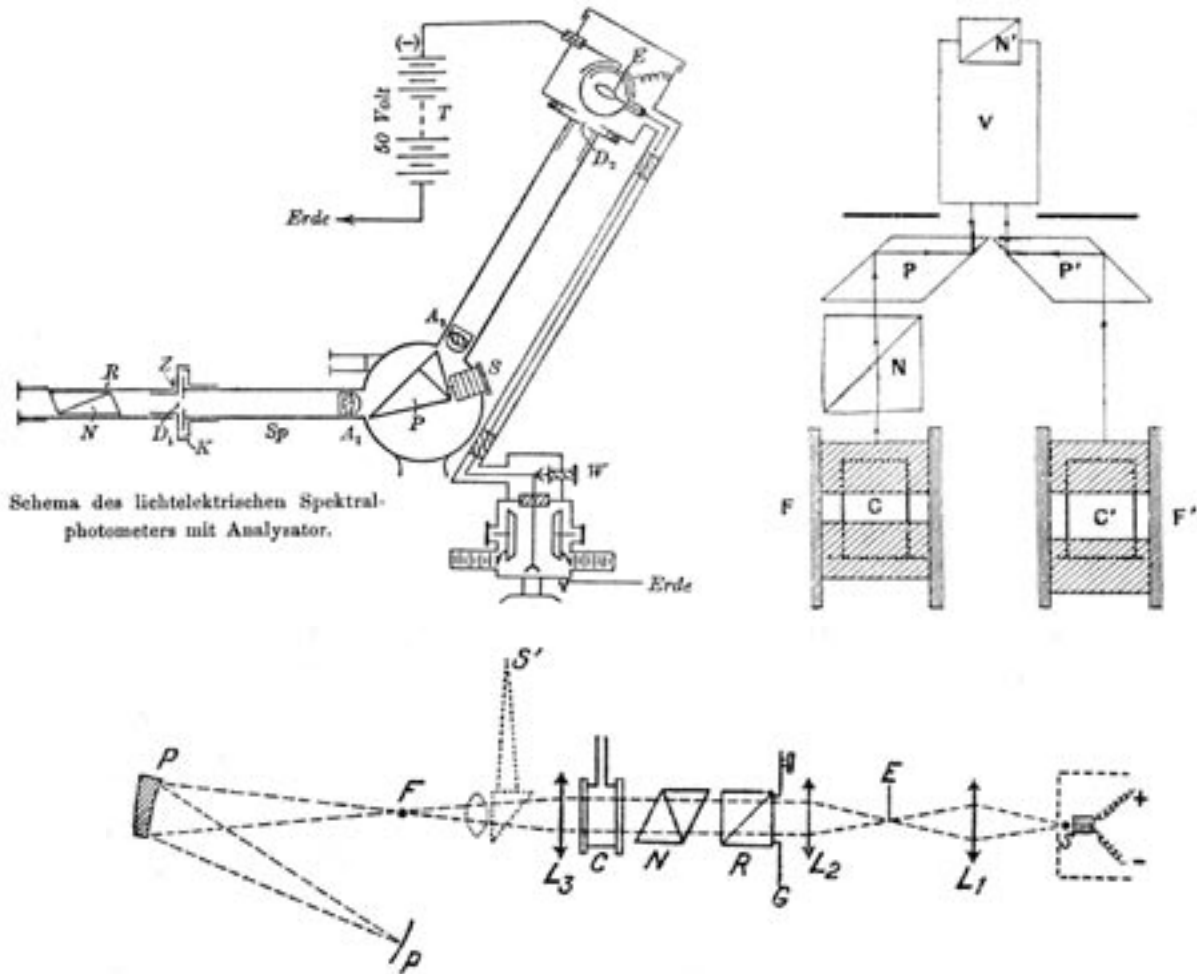
Af sex birtum syrþum mælinga á h með röntgengeislum sem Siegbahn (1924, bls. 201) vitnar til, notuðu fjórar kalkspat sem staðal. Um þetta leyti stýrði olíudropa-gildi rafeindarhleðslunnar gildinu á kristalflata-bili kalkspats eins og nefnt var rétt áðan. Gátu því skekkjur úr ákvörðun rafeindarhleðslunnar borist yfir í gildið á h á fleiri en einn veg. Allar mælingarnar sem Siegbahn taldi upp, gáfu svipuð h, á bilinu (6,50-6,58) 10^{-27} cgs einingar. Bollman og DuMond (1938) ítreka síðan ábendingar Millikans (1917a,b) og annarra um það að rafeindarmassinn m, rafeindarhleðslan e, ljóshraðinn c og stuðull Plancks h (auk rafsvörunarstuðuls tómarúms í SI-einingakerfinu) séu öll þættir í svonefndum Rydbergs-fasta R. Hann hefur víddina $1/l$ lengd, og er hægt að finna hann nákvæmlega með venjulegum ljósgreiðu-mælingum á litrófi frá vetni og helium. Það var því viss prófsteinn á skammtakenninguna og hinar margháttuðu eðlisfræðitilraunir sem þarna komu við sögu, hvort þau gildi á R sem fundin voru með óbeinum og beinum hætti, stemmdu. Birge (1941) og Bruhat (1942) telja samræmið vera orðið viðunandi, en endurbótum á tækjakosti var enn haldið áfram. Þannig bendir Aminoff (1946) á leið til að auka greiningarhæfni íslenskra silfurbergskristalla með slípun, og Bearden og Schwarz (1950) nota silfurberg (úr tilraunum Beardens frá um 1930, líklega íslenskt) í nýjum rófgreini til að finna stærðina h/e með sex tölustöfum.

Í ljós kom strax og byrjað var að kanna útgeislunar- og gleypilitróf röntgengeislunar hinna ýmsu frumefna, að þau eru að hluta samsett úr stökum línunum eða úr böndum sem enda snögglega við tiltekna bylgjulengd. Margar reglur um bylgjulengdir þessara litrófa voru settar fram; einna fyrst, einföldust og merkust þeirra er regla H.G.J. Moseleys um að stystu bylgjulengdir geisla frá hverju frumefni séu í hlutfalli við $1/(Z-1)^2$ þar sem Z er raðtala (rafeindafjöldi) þess. Hún var upphaflega fundin 1913 út úr mælingum með ferrocyanalium-greinikristalli á rófi geislunar frá málmum með $Z = 13$ til 47. Regla Moseleys um þessa svonefndu K-syrpu röntgengeisla var staðfest nánar með mælingum á þyngri frumefnum þar sem m.a. kalkspat, salt, gifs og sykur komu við sögu sem greinikristallar (Siegbahn 1924, IV. kafli). Frumefni gefa frá sér K-geislana þegar rafeindir falla inn á innstu braut um kjarnann, og kalkspat var einnig notað að hluta við mælingu bylgjulengda í hinum fjölbreyttu L- og M-syrpum geisla frá þungum frumefnum. Menn mátu það augljóslega mikils að eiga þarna kost á góðum staðal- og greinikristalli. Þannig kveðst til dæmis Coster (1921) hafa haft „sehr schönen“ kristall úr kalkspati í tækjum sínum við slíkar mælingar, og Kellström (1927) var með til þess „zwei verschiedene Kristall-exemplare von vorzüglicher Beschaffenheit“. Þessar mælingar á orkustigum rafeinda í öllu lotukerfinu var mikilvægt að gera á sem nákvæmasta hátt til samanburðar við skammtafræði-kenningar N. Bohrs, A. Sommerfelds, G. Wentzels, A. Kossels, L. Vegards og annarra um byggingu frumeindanna. Upp úr 1930 voru áður nefndir tveggja-kristalla rófgreinar með kalkspati endurbættir til að skoða breidd og lögum hinna einstöku lína röntgen-rófsins (t.d. Richtmyer o.fl. 1934).

Á áratugunum 1920-50 var sleitulaust unnið áfram með röntgengeisla á mörgum rannsóknastofum við að finna fjarlægðir og stefnur milli frumeinda í kristöllum óteljandi ólífrænna og lífrænna efna, og kanna ýmis ferli í þeim efnasamböndum. Ekki hef ég þó kannað hvort notkun kalkspatsins hafði afgerandi áhrif á þróun þessa fræðasviðs.

36.6 Compton-hrif

A.H. Compton sem nefndur var hér að ofan, taldi að samkvæmt skammtakenningunni ætti bylgjulengd röntgengeisla að aukast samkvæmt einfaldri formúlu í árekstrum þeirra við rafeindir, vegna orkutaps. Hann reyndi svo að mæla þessar breytingar á geislunum eftir að þeir



Mynd 36-4. Ýmis ljóstæki til rannsókna á lofti og vökvum. Að ofan t.v.: Ljóstæli með rafrænni skráningu, notaður af Dember og Uibe (1918) til greiningar á litrófi og skautunarástandi himin-ljóss. Ljósíð kemur inn í tækið frá vinstri, og þar er Nicol-prismað N. T.h.: Lóðrétt snið af tæki Lépines (1915) fyrir samanburð á flúrljómun litarefna af mismunandi styrk og í mismunandi leysi-vökvum. Athugandi horfir að ofan gegnum Nicol-prismað N' og kíkinn V, og snýr N þangað til ljós frá vökvum í ílátunum C og C' sýnist jafnstærkt. P og P' eru glerprismu. Að neðan: Mæling Ribauds (1919) á því hve mikið af sýnilegu og útfjólubláu ljósi bróm-gufa í ílátinu C gleypir við mismunandi hitastig. Lampi er hægra megin, litrófsgreinir vinstra megin. R er Rochon-prisma, N er Nicol-prisma og L-in eru linsur úr kvarsi.

höfðu dreifst frá rafeindum í grafitklumpi. Þær voru mjög litlar og var því hagstætt að nota greinikristalla sem endurköstuðu vel frá sér áfallandi mjóum röntgengeisla, án breikkunar. Segir Compton (1923) í fyrstu grein sinni um mælingarnar: "Using a crystal of calcite, this made possible a rather high resolving power even in the first order spectrum". Fleiri sem voru að rannsaka fyrirbrigðið á næstu misserum, notuðu einnig kalkspatkrystalla, t.d. Ross (1923), Hagen (1925) og ekki síst W. Duane, sem þá var orðinn þekktur fyrir aðrar uppgötvanir í þessum fræðum. Hafði Duane reynt að endurtaka tilraun Comptons en ekki fengið sömu niðurstöður, og var einn margra sem töldu skýringar hans á þeim vera út í hött. Með endurbættum tækjum og yfir 9 cm löngum kalkspatkrystalli sannfærðist hann þó fullkomlega (Allison og Duane 1925). Bylgjulengda-breytingarnar eru síðan nefndar Compton-hrif, sjá Viðauka 5. Má jafnframt draga af þeim þá ályktun að ljóseindir hafi skriðþunga í samræmi við kenningar A. Einsteins (1905a) um ljós-skömmtun; varð það mjög til að auka veg þeirra kenninga. Með bættri upplausnarhæfni

kristallanna fyrir röntgengeislun var síðar reynt að greina Compton-geislunina sundur í afmarkaðar „litróflínur“, svipað og hafði þá fundist í dreifðu sýnilegu ljósi (Raman-hrif, kafli 39.7). Sjá um það t.d. Bearden (1930) sem notaði „a large very perfect calcite (Iceland spar) crystal“, en án árangurs. Einnig var kannað hvort hrifin væru breytileg eftir því hve fast bundnar þær rafeindir væru sem yllu röntgengeisla-dreifingunni. Varð þá kalkspat enn fyrir valinu, t.d. hjá DuMond (1933) sem smíðaði tæki með 50 litlum kristöllum af því, og Ross og Kirkpatrick (1934).

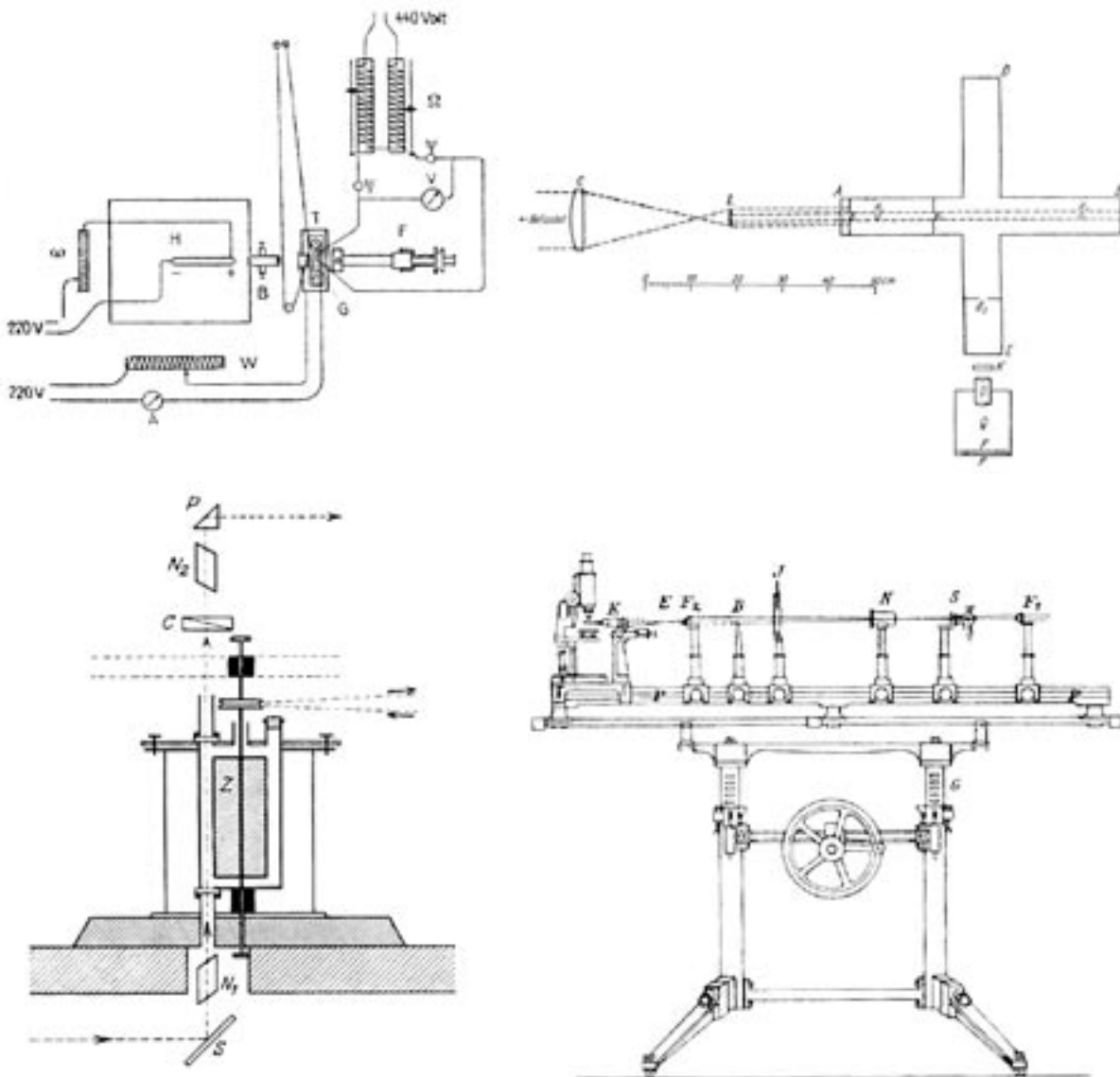
36.7 Ljósdræifing, óson o.fl.

Rayleigh lávarður hafði talið bláan lit stöðuvatna og sjávar stafa frá himninum, en ekki voru allir ánægðir með þá skýringu. M. Smoluchowski (1907) setti fram kenningu sem A. Einstein (1910) endurbætti, um að dræifing ljóss í vökvum og vökvablöndum gæti verið afleiðing innra flökts í eðlismassa þeirra í samræmi við lögmál varmafræðinnar. Flöktið verður sérstaklega mikið þegar hitastig vökva er nálægt svokölluðu kritisku hitastigi hans, og höfðu menn einmitt tekið eftir því að vökvar verða þá hvítleitir. Kenningin kom heim við niðurstöður tilrauna sem Onnes og Keesom (1908; Keesom 1911) höfðu þá nýverið gert á ljósgleypingu vökva rétt við kritiska hitastigið, og Fürth (1915) staðfesti þær frekar. Báðar rannsóknirnar notuðu Nicol-prismu við mælingar á ljósstyrk (*Mynd 36-3*).

Zernike (1916), Schirmann (1919, 1926), Gans (1920 og síðar), Cabannes (1922), og Raman (1922) og samstarfsmenn hans voru meðal þeirra mörgu sem komu við sögu tilrauna og kenninga varðandi ljósdræifingu og -gleypingu í vökvum um og upp úr 1920. Auk þess könnuðu m.a. King (1913), Smoluchowski (1916), Ribaud (1919, *Mynd 36-4*), Rayleigh yngri (1920 og fyrr), Cabannes (1921), Gans (1921, *Mynd 36-5*), og Raman og Rao (1923) þessi mál í lofttegundum, og Rayleigh yngri (1919) og aðrir í silfurbergi o.fl. föstum efnun. Mælingar gáfu allgott samræmi við Smoluchowski-Einstein kenninguna, en það ljós sem dræifðist í stefnu þvert á stefnu innfallandi geislans, reyndist ekki vera alveg línulega skautað eins og Einstein spáði (Partington 1953, bls. 246) nema þá helst í eðalgösunum. Kom það til af því að þeir „klumpar“ sem einkum myndast í vökvum og gasi nálægt kritisku hitastigi, eru misátta í breytilegum mæli auk þess að vera mis-þéttir. Frávikið („Depolarisation“) frá spá Einsteins var mest í efnun sem sýndu mikil Kerr-rafhrif (kafli 23). Gans, Raman, Cabannes og aðrir sýndu fram á, að út frá því mátti áætla stærð og lögun sameinda eða annarra þeirra agna sem ollu dræifingunni. Sjá um þessi mál t.d. Partington (1953, bls. 255-267) og Stuart (1931) sem segir í útdrætti: „Bestimmungen der Depolarisation des Streulichtes und Untersuchungen des Kerr-Effektes bei Molekeln sind wichtig, weil sie Schlüsse auf die Struktur der Molekeln und die gegenseitige Beeinflussung ihrer Bausteine erlauben“. Frekari rannsóknir á ljósdræifingu hafa einnig meðal annars átt þátt í að auka skilning á útgeislun stjarna og á lofthjúpi reikistjarna.

Björnstháhl (1918, *Mynd 36-5*) gerði rannsókn af svipuðum toga, nefnilega á ljósgleypingu fljótandi kristalla. Hann sýndi fram á það með König-Martens ljósmælinum úr *Mynd 29-12*, að ljóseiginleikum þess konar efna má breyta með rafsviði, og hefur mikilvægi þeirrar uppgötvunar komið fram í kafla 27.2.

Ef efnasamband úr mjög stórum sameindum er leyst upp í vökva og þær eru þar stakar á sveimi (en mynda ekki misstóra hópa), má leiða út úr kenningu Einsteins (1910) að ljósmagnið sem þær dræifa sé í réttu hlutfalli við mólþungann. Það staðfestu fyrst Putzeys og Brosteaux (1935) með nokkrum próteinum, og Debye (1944, 1947) benti m.a. á að lögun sameindanna eða bylgjulengd ljóssins skipti ekki miklu máli fyrir túlkun mælinganna að því leyti. Þetta var



Mynd 36-5. Rannsóknir á lofti og vökvum. Að ofan t.v.: Athugun Björnstháls (1918) á áhrifum rafsviðs á ljósbrot í fljóttandi kristöllum. Sýni er í ílátinu G og lýst í gegnum það með lampa B, ljósið er svo greint í König-Martens litrófs-ljósmaelinum F. Fjögur færiviðnám stilla rafsviðið, ljósmagnið og hitastigið. T.h.: Séð ofan á tæki Gans (1921); hann var einn þeirra sem juku við kenningar Einsteins (1910) um dreifingu ljóss. Ljósgeisli kemur frá vinstri inn í kross-laga ílát, og athugandi horfir gegnum glugga á einum arminum til að kanna skautunarástand þess ljóss sem hefur dreifst frá sameindum lofttegundar (H_2 o.fl.). K er tveggja geisla prisma úr kalkspati og gleri. Að neðan t.v.: Tækjabúnaður til að skoða Maxwell-hrif (Strömungs-doppelbrechung) í vökvum sem staf- eða plötulaga agnir eru í. Horft er frá hlið, sívalningnum Z er snúið með jöfnum hraða í vökvaílátinu. Skautað ljós kemur neðan frá og er greint með fasajafnarannum C og Nicol-prismanu N_2 . Teikning úr Ambronn og Frey (1926), hugmynd frá Kundt (1881). T.h.: Ultrasmásjá H. Siedentopfs og R. Zsigmondys. Lýst er frá hægri á ílát með vökva undir smásjánni vinstra megin, agnir í vökvanum (jafnvel minni en bylgjulengd ljóssins) sjást þá sem ljósblettir. Nicol-prismað N var stundum notað, til að fá upplýsingar um lögum agnanna. Mynd ætluð úr bæklingi frá C. Zeiss um 1905 (Zsigmondy 1925).

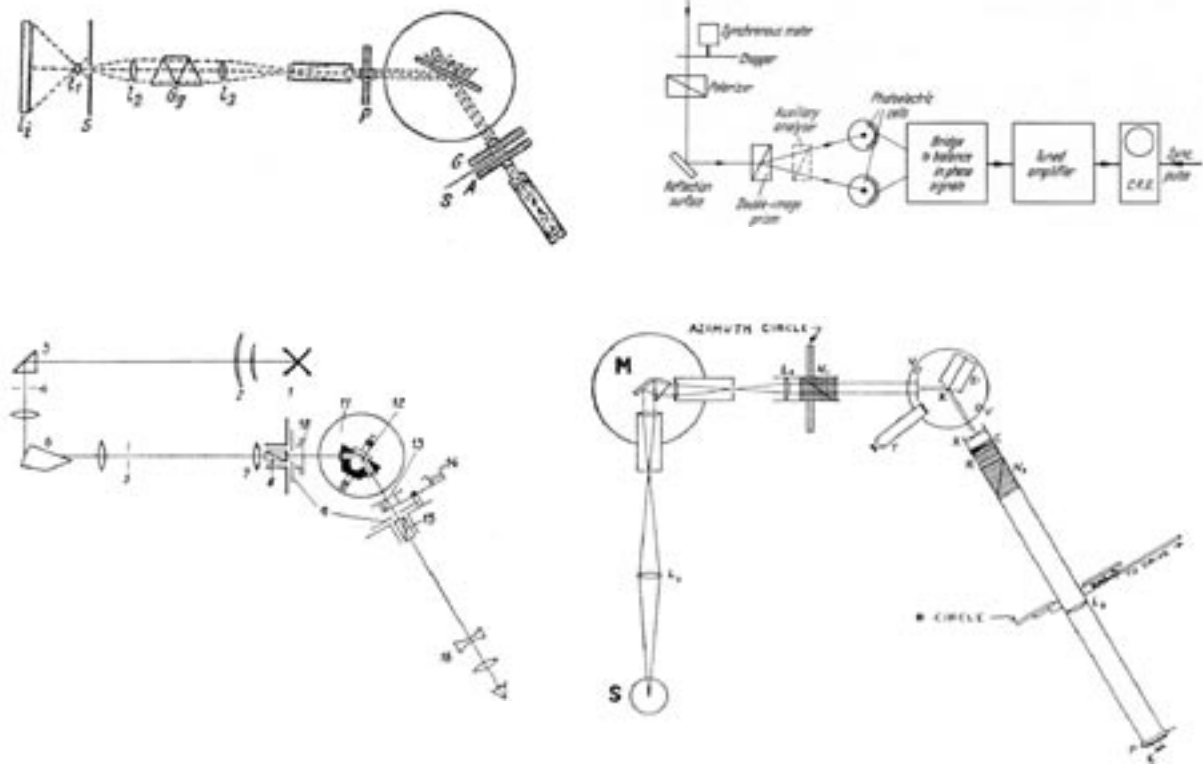
síðan talsvert notað á árunum kringum 1950 við rannsóknir á mólþunga (> 10000) til dæmis albumin- og globulin-efna, fjölliða (polymers), mótefna (antibodies) og veira. Aðrar aðferðir til að finna mólþungann höfðu þó lengi verið til, svo sem með ultra-skilvindum og með mælingu á osmotiskum þrýstingi.

Ein hagnýting ljósdreifingar, til viðbótar við þá sem lýst var hér á undan og í kafla 27.1, var í svonefndum ultrasmásjám (*Mynd 36-5*). Þar mátti sjá agnir í sviflausn eða gleri (Siedentopf og Zsigmondy 1903, Cotton og Mouton 1903) sem voru minni en bylgjulengd ljóss. Var þá lýst á sýni frá hlið, og komu agnirnar (t.d. örverur) fram sem ljósblettir á dekkri bakgrunni. Tæki af þessari gerð voru m.a. seld lengi af Zeiss-fyrirtækinu. Með því að gera hið innfallandi ljós línulega skautað með Nicol-prisma, mátti fá vissar upplýsingar um lögun agnanna ef með þurfti. Sjá Viðauka 5.

Menn héldu áfram mælingum á bylgjulengdum, styrk og skautun ljóssins frá himninum við margvíslegar aðstæður. Meðal annars voru könnuð tengsl við staðsetningu og hæð athugandans, árstíð, veðurfarsþætti, sólblettavirkni, og stór eldgos. Margt af frumheimildum um þessar rannsóknir er í veðurfræðitímaritum, doktorsritgerðum og öðrum verkum sem ég hef ekki komist í, en Jensen (1928) tók saman viðamikið yfirlit um þær. Sem dæmi má nefna grein um skautunarástand himinljóss af mismunandi lit, kannað með nýjum rafrænum silfurbergsmæli (Dember og Uibe 1918, *Mynd 36-4*). Annað dæmi eru langvarandi og ítarlegar mælingar C. Dornos (m.a. 1919) á sýnilega himinljósinu, að hluta með tæki Webers (1891) úr kafla 29.4 og e.t.v. einnig öðrum búnaði með Nicol-prismum. Hann varð síðar þekktur fyrir rannsóknir á útfjólublárrí geislun í andrúmsloftinu. Skyld viðfangsefni sem hefur hlotið vaxandi athygli síðustu ár, snerist um það hvernig óson gleypir sumt útfjólubláa ljósið frá sólinni. Fram kom í kafla 29.8 að A. Cornu og aðrir höfðu áætlað gleypinguna vera nokkuð algæra við styttri bylgjulengdir en 290-300 nm, sem kom heim við þekkta hegðun ósons. Cornu taldi sig hafa fundið við mælingar á fjöllum uppi í 3,7 km hæð yfir sjávarmáli, að þegar sólin var hátt á lofti kæmist lítillaga meira í gegn af stystu bylgjulengdunum þar en niðri á jafnsléttu. Vandaðar athuganir á þessu atriði voru gerðar m.a. af Wigand (1913) sem tók litrófssjá með kalkspatprismum upp í allt að 9 km í loftbelg en fann enga marktæka breytingu á ystu mörkum sólar-rófsins með hæð. Óson-lagið hlaut því að liggja hærra, og fundu menn m.a. með athugunum þar sem silfurbergsprismu gegndu enn nokkru hlutverki (Lambert o.fl. 1927) að það væri í yfir 40 km hæð. Fabry og Buisson (1921) könnuðu hve mikið óson væri í heild í andrúmsloftinu, og notuðu í þeirri rannsókn silfurbergsprismu við kvörðun á næmni ljósmyndaplatna. Þeir fengu þá niðurstöðu að ef allt ósonið væri komið niður að jörð við staðal-aðstæður, mundi það mynda um 3-mm þykkt lag. G.M.B. Dobson og samstarfsmenn sem hófu umfangsmiklar rannsóknir á ósonlaginu um 1923, virðast að mestu eða öllu leyti hafa notað nýrri tegundir ljósmæla, m.a. rafræna.

36.8 Ljómun; Maxwell-hrif

Áfallandi snöggur ljósblossi kemur sameindum sumra efna í örvað ástand, og í stuttan tíma eftir það gefa þau frá sér dauft ljós, flúrljómun. Mörg flúrljómandi efni voru þekkt um miðja 19. öld, en síðar bættust fleiri við. Á föstu formi hafa þau t.d. verið notuð í sjálflysandi úrum, ratsjár-, sveiflusjár- og sjónvarpsskjám. Af efnun sem oft eru notuð uppleyst í vatni eða öðrum leysivökvum má nefna fluorescein, eosin, rhodamin og erythrosin. Hafa þau verið hagnýtt meir og meir m.a. í ljósmynda-, prent- og textiliðnaði, þvottaefnum, litun vefjasýna, og lífefnafræðitilraunum. Ljósmælar með Nicol-prismum hafa komið talsvert við sögu rannsókna á flúrljómun, en aðeins örfá dæmi eru nefnd í þessu riti (t.d. Becquerel 1861, *Mynd 18-2*, Lépine 1915, *Mynd 36-4*).



Mynd 36-6. Endurkast ljóss frá málmum. Að ofan t.v.: Athugun Lauchs (1924) á þunnum húðum góðmálma. Ljós kemur frá lampanum vinstra megin gegnum tvísturprismað Gg og skautunarprisma, fellur á málminn og er svo greint í vönduðu tæki (Fuess um 1910) með Savart-plötu, Senarmont-fasajafnara og Nicol-prisma. T.h.: Fotosellu-búnaður svipaður þeim sem Pfestorf (1926) notaði við speglunar-tilraunir frá málmum, en nýrri. Mynd úr Handbuch der Physik 25/I, 1961. Að neðan t.v.: Mælingar Tronstads (1933) á m.a. kvikasilfri. Prismun vinstra megin velja ljós á þröngu bylgjulengdarbili frá lampanum 1. Það fellur svo gegnum Nicol-prismað 8 og speglast frá málmnum við 12, og er greint með hálfskugga-prismanu 13 og Nicol-prismanu 15. Að neðan t.h.: Með “crystalliptometer” Welds (1922) með m.a. Nicol-prisma í rörunu hægra megin, má greina skautunarástand mjós geisla frá lampanum S eftir speglun á hálfleiðarafleti M.

Hér verður rætt stuttlega um skautun flúrljómunar þegar lýst er á efni með sterku skautuðu ljósi. Þótt hún sé oftast óskautuð, tóku menn eftir undantekningum frá því, fyrst líklega R.W. Wood í gufum af natrium, kalium og jodi á árinu 1908. Franck og Hertz (1912) staðfestu, að flúrljómun jodgufu af völdum skautaðs ljóss var að hluta skautuð. Lítið gerðist svo í þessu máli í áratug, sjá nánar í kafla 39.3.

Skautun flúrljómunar í vökvum sem lýst hefur verið á með skautuðu ljósi, var uppgötvuð af F. Weigert um 1920 (sjá Weigert og Káppler 1924). Fyrirbrigðið var kannað nánar t.d. af Wawilow (1925) og Hakenbeck (1929) sem notuðu König-Martens litrófsljósmæli. Skautunin dofnað hratt því að sameindirnar í vökvum eru sífellt á hreyfingu og að lenda í árekstrum hver við aðra. Slíku flökti eindanna veitti R. Brown fyrstur athygli fyrstur athygli löngu fyrr, og A. Einstein hafði kannað það fræðilega fyrir kúlulaga eindir 1905-06. Einstein lét hinsvegar hjá líða að rannsaka Browns-hreyfingarnar í þeim flóknu tilvikum þegar eindirnar eru flatar eða aflangar. Þá flöktir stefna þeirra einnig óreglulega, en ef vökvinn er mjög seigur hafa þær ekki náð að snúast að ráði áður en þær falla aftur niður á eðlilegt orkustig. Þannig getur útgeislaða ljósið orðið skautuð, til dæmis hjá rhodamin B og erythrosin í glyserini. Þetta varð á þriðja áratug aldarinnar tilefni ýmiskonar rannsókna, t.d. mælinga á dofnunartíma flúrljómunar-skautunarinnar (með Kerr-sellum o.fl. tækjum) í vökvum við mismunandi styrk ljómunarefnis,

hitastig og seigju. Einnig voru gerðar umfangsmiklar kennilegar úttektir á Browns-snúningnum (t.d. Perrin 1925, 1929 og síðar, Lewschin 1925, Hakenbeck 1929). Um skeið virtust sumar mælingar gefa vísbendingu um að ljómunin byrjaði ekki fyrr en eftir endanlega langan „dauðan“ tíma frá ljósblossanum, sem hefði verið merkileg niðurstaða frá sjónarhóli skammtafræðanna, en Gaviola (1929) taldi mæliskekkjum um að kenna.

Upp úr 1950 var byrjað að rannsaka dofnun skautunar flúrljómunar lítilla sameinda sem höfðu verið festar við miklu stærri sameindir á borð við prótein, til að fá upplýsingar um stærð og lögun þeirra síðarnefndu (Weber 1952). Tækni við það var svo þróuð frekar, sjá kafla 39.2. Í nýlegri bók (Sun 2004) eru mælingar á þessari dofnun (fluorescence depolarization) sagðar vera önnur tveggja sígildra aðferða til að rannsaka þann þátt sveims (diffusion) í vökvum sem tengist snúningi sameinda. Hin sígilda aðferðin er að sögn Suns Maxwell-hrifin úr kafla 27.3, sjá *Mynd 36-5*. Þau hrif hafa veitt mjög gagnlegar upplýsingar m.a. um lögun og ljósbrotseiginleika agna í sviðlausn (Kolloide, sjá Zocher 1925) og stórra sameinda, sjá einnig Piganiol (1947) og Partington (1953, bls. 274-276). Muralt og Edsall (1930) könnuðu þannig myosin úr vöðvum, og Lauffer og Stanley (1938) notuðu Maxwell-hrifin með góðum árangri við að finna að veirur sem leggjast á tóbakspöntur væru staf-laga; Stanley vitnar til þeirrar tilraunar í erindi við afhendingu Nóbelsverðlauna í efnafræði 1946. Á fjórða áratugnum voru einnig gerðar merkar rannsóknir á stærð og lögun DNA (Signer o.fl. 1938) og fjölliðuefna með þessari tækni.

36.9 Málm- og hálfleiðarafletir og þynnur

Af ýmsum ritsmíðum birtum um miðbik 19. aldar varðandi rannsóknir á skautunarástandi og hlutfallslegum styrk ljóss sem endurkastaðist frá sléttum málmflötum, hafa þegar verið nefndar greinar eftir Cauchy (1839b), Jamin (1845, 1847), og Quincke (1863). Um og eftir 1890 jókst að nýju mjög áhugi á rannsóknum af þessu tagi, í kjölfar staðfestingar á kenningum J.C. Maxwells um rafsegulgeislun. Var nú hægt að afla tilrauna-niðurstaðna til samanburðar við þann þátt kenninganna, að brotstuðul málma mætti tákna með tvinntölum. Beindust tilraunirnar ekki eingöngu að málmflötum, heldur einnig málmþynnur og hálfleiðurum. Einna þekktastur vísindamanna á þessu sviði var P. Drude (t.d. 1900a,b, 1904), en að auki má nefna A. Cornu, A. Kundt, W. Wernicke (t.d. 1885), J. Conroy, G. Meslin, H. du Bois, O. Wiener, H. Rubens, W. Voigt, sjá Winkelmann (1906), og H.v. Wartenberg (1910). Áttu þær rannsóknir og aðrar með skautuðu ljósi greinilega nokkurn þátt í tilurð kenninga Drudes og síðar H.A. Lorentz (1915) og annarra um ástæðurnar fyrir rafleiðni í efnun (sjá t.d. Kent 1919 hvað varðar málma).

Nýjar leiðir fundust til að búa til málmþynnur, svo sem með húðun í lofttæmi (t.d. Lauch 1924, *Mynd 36-6*). Greiningu skautunarástands sýnilegs og útfjólublás ljóss eftir endurkast frá málmflötum og málmhúðum, sem nefnd var í kafla 29.8, var haldið áfram af m.a. Pogány (1916), Hauschild (1920), Weld (1922, *Mynd 36-6*), og Pfestorf (1926, *Mynd 36-6*). Rannsóknirnar lögðu jafnframt grunn að mikilvægri aðferð (Tronstad 1933, o.m.fl.) sem hefur verið kölluð „ellipsometry“, *Mynd 28-2* og *Mynd 36-6*. Henni hefur frá um 1960 mikið verið beitt við mælingar á þykkt og eðliseiginleikum þunnra og örþunnra himna (bæði af einangrandi og hálfleiðandi efnun) til nota í ljós- og rafeindatækni, samanber til dæmis safn endurprentaðra tímamótagreina í ritstjórn Azzams (1991). Þar má ekki síst nefna framleiðslu örgjörva í tölvur, og Collett (1993) kallar ellipsometriuna „one of the most important applications of polarized light“. Endurkasts-rannsóknirnar flýttu eflaust einnig fyrir þróun smásjártækni þeirrar fyrir málmsteindir og málma sem lýst er í kafla 29.3, sjá meðal annars Königsberger (1908) og Tyndall (1923).



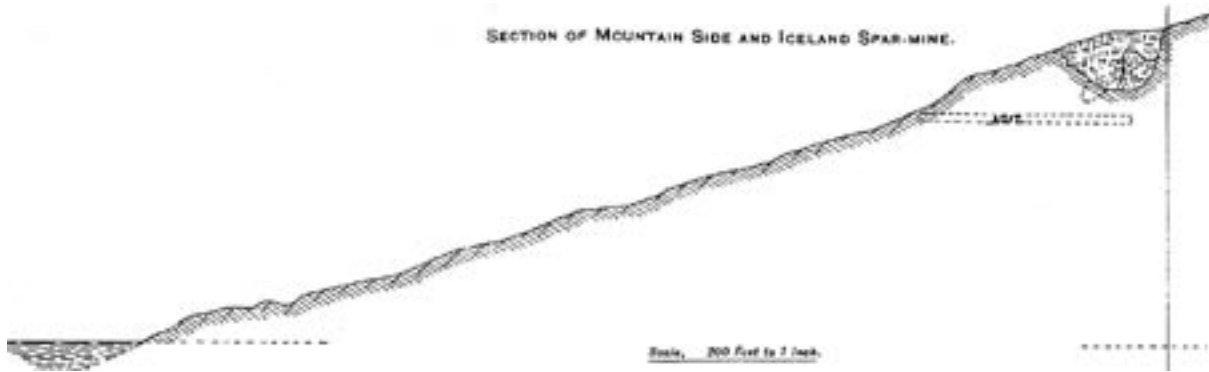
37 Silfurbergsnám 1910-40

37.1 Helgustaðanáman

Málefni silfurbergsins blönduðust talsvert í stjórn málaumræðuna 1910-11, eins og sjá má í Reykjavíkurbliðunum. Verður ekki farið mikið út í þau skrif hér, en þetta var eitt fimm atriða í embættisfærslum Björns Jónssonar ráðherra sem rannsóknarnefnd Efri deildar Alþingis 1911 kannaði. Um það er fjallað í fundargerðum nefndarinnar sem vitnað er til í Alþingistíðindum 1911A bls. X, auk fylgiskjala nr. 195-239 (sem ég hef skoðað lauslega í Skjalasafni Alþingis) og Endurminninga Sveins Björnssonar útg. 1957. Ríkisstjórnin mun hafa auglýst eftir tilboðum í rekstur Helgustaðanámunnar, og bárust tvö. Annað var frá Thor E. Tulinius og hitt nokkru hagstæðara frá Guðmundi Jakobssyni í Reykjavík. Var því tekið til 10 ára, og Magnús Th.S. Blöndal kom brátt í félag með Guðmundi um málið. Zeiss-fyrirtækið mun síðan hafa sóst eftir að fá námuna leigða af þeim (sbr. t.d. bók Jóns Krabbe: Erindringer fra en lang Embedsvirksomhed, Kbh. 1959, bls. 29-30, og fylgiskjöl 218-219 með áðurnefndum fundargerðum), en ekki varð úr því. Magnús og Guðmundur fengu hinsvegar heimild til að framselja samning sinn til franska banka sem aftur framseldi hann frönsku hlutafélagi. Það hét Société Française d'Entreprises en Islande og var á vegum J.P. Brillouins, sem áður var konsúll Frakka í Reykjavík.

Þorsteinn Thorarensen (1966) greinir frá því að Thor E. Tulinius hafi selt helming þess silfurbergs sem eftir var úr námarekstrinum á Helgustöðum 1895-1910, fyrir 75 þús. kr., en skilað landssjóði hinu (sem lá á Eskifirði og í Kaupmannahöfn). Urðu m.a. deilur um það hvort þetta væri í samræmi við upphaflegan samning þessara aðila, og eins var deilt um gæðaflokkun efnisins sem skipt var. Magnús og Guðmundur fengu síðan þóknun fyrir að selja (til Brillouins skv. fylgiskjali 224) helming landssjóðs af silfurbergsbirgðunum, alls 7-8 smálestir að meðtöldum 4500 pundum sem unnin voru 1910. Ráðgjafi Brillouins er í bliðunum tiltekinn hr. Jobin, væntanlega frá samnefndu ljóstækjafirma í París.

Um margháttuð umsvif Brillouins má lesa m.a. í Ísafold 4. maí 1912 og í nýútkominni ævisögu Einars Benediktssonar eftir Guðjón Friðriksson. Í fylgiskjölum 202-207 kemur fram að sala Thors E. á einhverju af hluta sínum af silfurbergslagernum hafi orðið til þess að minnka eftirspurn. Þetta olli Brillouin vandræðum og getur hafa orsakað það að félag hans vann ekki í námunni 1911. Félagið vann þar 1912, og hafði ríkið 4000 kr. í tekjur af því skv. Alþingistíðindum 1915A bls. 37. Helgi H. Eiríksson (1930) segir Frakkana hafa tekið um 2 tonn, væntanlega það ár. Enginn rekstur var eystra árið 1913, en ríkið fékk þá 6114 Ffr. af sölu silfurbergs, sjá Alþingistíðindi. Uppgjör fyrir 1912 og 1913 voru lögð fram í stjórnarráðsbréfi sem nefnt er þar (1915A bls. 1735; tilheyrandi fylgiskjölum var skilað til Stjórnarráðsins).



Frsm. (Bjarni Jónsson): Það kom mér nokkuð á óvart, að amast var við þessu frv. eða að brtt. kæmi fram við það.

Hv. 1. þm. S.-M. (Sv. Ó.) heldur því fram, að frv. sje óeðlilegt band á innlenda verslun með silfurberg. Mér er með mínum besta vilja ómögulegt að sjá, að svo sje. Þeir, sem vilja kaupa „rosta“ til skrauts, gætu jafnt fengið mola fyrir því, þótt ríkið hefði einkasölu á honum. En ef ætti að hafa besta silfurberg í lausasölu innanlands, þarf betri strandgæslu, svo að ekki verði flutt út óleyfilega og fengist þannig keppinautar, sem feldu verðið fyrir ríkinu.

Það væri jafnærri að fella frv. alveg, eins og að gera það, því svo eru kunnar krókalreiðir manna, að ekki þarf að ýta undir þá með lagafrumvörpum til þess að þeir fari þær.

Eins og kunnugt er, er silfurberg notað mjög til stríðsþarfa. Það er því ekki eingöngu verulunarnauðsyn, að landið taki þessa verslun í sínar hendur, heldur þarf það og að gæta þess, að eitt ófriðarríki hafi ekki öll not þessarar vöru, svo landið dragist ekki á þann hátt ófyrirsynju út í ófriðarhættu.

Þessa skuldbindingu, sem háttv. 3. þm. Reykv. (J. Þ.) benti á, er jeg ekki hrædd-

ur við, því fari svo, að silfurberg finnist ekki, getur enginn skyldað stjórn landsins til að selja það. Hins vegar held jeg, að hver maður mundi jafnfús á að leita að silfurbergi fyrir það, því jeg hefi ekki hugsað mér, að landið græði á þessari verslun fyrir aðra, nje að það ræni þá lögmætri eigu þeirra, heldur hafi það umboðssölu á vörunni, því jeg held því fram, að það sje betra fyrir einstaka menn en að þeir selji það sjálfir, því þeir þekkja ekki, hversu dýrmætt silfurbergið er, og telja sig hafa selt vel, þó að verðið sje langt fyrir neðan gangverð.

Jeg heyri, að hjer er nokkur ótti á því, að Helgustaðanáman muni tæmd og ekki muni finnast silfurberg á öðrum lands-sjóðsjörðum. Þetta er aðeins spádómur. (J. Þ.: Það er eftir kunnugra sögusögn). Jeg hefi að vísu heyrt eitthvað í þá átt líka, en námaverkfræðingurinn, sem nú er fyrir austan, hefir tjáð mér, að engin ástæða sje til að óttast það. Hann heldur að gangur af silfurbergi muni ná gegnum fjallið. (Sv. Ó.: Það getur ekki verið, því ekkert silfurberg hefir fundist hinumegin). Jeg þori ekki að fullyrða, að svo sje, en þá hefir þó fundist silfurberg svo nærri, að hann telur ástæðu til að ætla, að gangur muni vera þar á milli, sem og er eðlilegast.

Mynd 37-1. Að ofan: Smækkað snið Helga H. Eiríkssonar (1920) af hliðinni við Helgustaðanámu, með námunni og áformuðum göngum inn undir hana. Að neðan: Umræður á Alþingi varðandi silfurbergið eru athygli verðar, m.a. þegar frumvarp kom fram um einkasölu ríkisins á því 1922. Þar segir Bjarni Jónsson frá Vogu að silfurberg sé „notað mjög til stríðsþarfa“; svipað má sjá hjá Þorsteini Thorarensen (1966) og víðar. En eins og fram kemur í kafla 40.4, hefur gengið afleitlega að finna staðfestingu á þessu atriði í eldri prentuðum erlendum heimildum.

Þrátt fyrir nokkra leit í íslenskum blöðum frá vori til hausts 1914 hef ég ekkert fundið um námuvinnslu á Helgustöðum það ár, en Sigurður Hj. Kvaran læknir tók við starfi eftirlitsmanns við námunum í júní af Páli Torfasyni. Styrjaldarástandið stöðvaði svo frekari aðgerðir um sinn, og Brillouin og hans lið komu ekki frekar við sögu eystra. Á Þjóðskjalasafni (Hagskýrslumöppur I, Námagróftur, I.1) munu vera ýmis gögn varðandi námuna 1911-14, en skjalaverðir þar hafa tjáð mér að erfitt sé að hafa upp á þeim plöggum í geymslum safnsins. Þingmannsfrumvarp á Alþingi 1917 um sölu Helgustaða (án námuréttinda) til þáverandi ábúanda var fellt.

Ríkisstjórnin ákvað síðan með samþykki Alþingis að reka silfurbergsnámuna á kostnað hins opinbera, og var Helgi H. Eiríksson, nýútskrifaður námaverkfræðingur, ráðinn til þess 1920. Sjá Helga H. Eiríksson (1920, 1922). Skýrsla eftir Helga sem nefnd er í Alþingistíðindum A2 1921 bls. 1686, virðist hafa glatast úr skjalasafni Alþingis. Margskonar plögg úr fórum hans sem varða silfurbergið, meðal annars vinnu-dagbók úr námurekstrinum, fundust hinsvegar í Iðnskólanum í Reykjavík fyrir áratug (skv. grein Guðjóns Jenssonar í Fréttabréfi Félags um skjalastjórn nr. 20, 1998) en ekki hef ég skoðað þau. Segir nánar frá rekstri námunnar næstu árin í umræðum á Alþingi og í ævisögu Helga (Guðmundur G. Hagalín 1970) auk Iðnsögu Íslands (Helgi H. Eiríksson 1943). Helgi lét gera um 70 m löng göng, opin yzt (*Mynd 37-1*) upp undir námuna, og náðust þar nokkrar smálestir af góðum kristöllum, sem seldir voru utan. Sigurður S. Jónsson (1988) staðhæfir raunar, að göngin hafi ekki hitt á silfurberg, en hann vitnar ekki til heimilda um það. Samkvæmt Heiðberg Hjelm (munnl. uppl., okt. 2005) lágu göngin upp í námuna, en síðan hefur hrunið fyrir það op. Maður fyrst af grjóthruni í námunni síðla í október 1923 samkvæmt blaðafregnum, og segir Heiðberg það hafa gerst í vatnsflóði vegna rigninga. Í ritverki H. Kuhns og R. Prinz (2003) er frásögn með ljósmynd, sem sýnir að menn voru að vinna þar í júlí 1924.

Alþingi ákvað jafnframt (sjá Kennaratal, Morgunblaðið 8. maí 1923 og minningargrein eftir Leif Símonarson í Náttúrufræðingnum 1976) að veita Steini Emilssyni styrk 1921 til að læra að kljúfa og flokka silfurberg hjá Zeiss-verksmiðjunum í Jena. Ekki veit ég þó til þess að hann hafi nýtt þá þekkingu hér á landi. Vorið 1922 samþykkti Alþingi, enn eftir talsverðar umræður (*Mynd 37-1*), lög um að ríkið hafi einkarétt til að selja allt silfurberg sem unnið verði á Íslandi. Þau lög munu hafa verið felld úr gildi 1933. Tekjur af sölu silfurbergs eru skráðar í Landsreikninga í nokkur skipti, árið 1929 til dæmis um 5300 kr., sem var svipað og árslaun verkfræðings.

Guðmundur G. Hagalín (1970) segir síðan eftir Helga H. Eiríkssyni, að 1924 hafi frést að helstu framleiðendur sjóntækja hafi fundið ódýrara og þeim hagkvæmara efni í stað „hins fagra silfurbergs“. Jafnframt hafi Bretar þá verið hættir að nota silfurberg í tæki til ákvörðunar sykurmagns í tollvörum. Eitthvað er hér óljóst eða ónákvæmt frá sagt, og tel ég víst að ekki hafi annarskonar efni komið í stað íslenska silfurbergsins, heldur betra og/eða ódýrara silfurberg annarsstaðar frá. Sjá næstu kafla um það, en meðan Helgi var svo að loka námunni og ganga frá málefnum hennar, skrifar Bouasse (1925, bls. 2) að stórir silfurbergskristallar séu virði þyngdar sinnar í gulli !

Í Hagskýrslumöppum á Þjóðskjalasafni, undir I, Námagróftur eru skráð I.2, ljósrít úr námabók sýslumanns Suður-Múlasýslu 1925-36, en skjalaverðir telja þau torfundin. Helgi H. Eiríksson (1943) segir námuna á Helgustöðum hafa verið leigða Kristjáni Magnússyni (listmálara) í Reykjavík 1935, og síðan Eiríki Sigurbergssyni frá 1939. Samkvæmt munnlegum upplýsingum frá Berglindi Ingvarsdóttur á Eskifirði (okt. 2005) var vegslóðinn upp að námunni innan frá lagður fyrir flutninga með vörubíl á leigutíma Kristjáns. Þarna mun aðallega hafa verið unninn (og að hluta mulinn á staðnum) silfurbergs-rosti, til nota í salla utan á byggingar. Sallahúðunin hófst við byggingu Þjóðleikhússins 1933 (Ari Trausti Guðmundsson 2003, og fleiri heimildir), en áður var búið að setja silfurbergsmola í ysta steypubyrði Landakotskirkju (Morgunblaðið 27.5. 1928). Einnig er til dæmis nokkurt silfurberg utan á Fiskifélagshúsinu við

Skúlagötu sem lokið var við 1934, og á Atvinnudeildarhúsi H.Í. sem reist var um 1937. Rættust þá loks hugmyndir þær sem Ólafur Olavíus skrifaði um á 18. öld ! Sjá 4. kafla og hér næst á eftir. Var sallahúðunin algeng hér a.m.k. fram yfir 1955 og hefur enst vel. Auk silfurbergsins eða í stað þess var hafður mulningur af hrafntinnu, kvarsí og öðrum afbrigðum kísils (tinnu o.fl.), skeljasandi, marmara og ef til vill fleiri efnum.

Tékkneskur leiðangur var á ferð hérlendis á fjórða áratugnum, og mun vera til grein eða skýrsla eftir J.V. Kaspar: O Islandskem Vapenci, 48 bls. útg. í Prag 1940. Samkvæmt útdrætti sem L. Hughes (pers. uppl. 2001) tókst að hafa upp á, er þar lýsing á silfurbergsnámunni og yfirlit yfir kristallafræðilegar rannsóknir á silfurberginu. Er hér með lýst eftir þessari skýrslu, ef einhver lesenda skyldi geta vísað á eintak af henni. W. Schutzbach (pers. uppl. 2004) segir framhald hennar hafa birst í ritröð efnaverkfræðistofnunar í Prag 1960.

37.2 Hoffell o.fl.

Guðmundur Jónsson Hoffell (1946, bls. 39-44) segir frá fundi staðar með góðu silfurbergi í 500 m hæð í fjallshlíð inn af Hoffelli í Hornafirði síðla árs 1910. Var nokkuð unnið þar á næstu árum og selt til útlanda að frumkvæði Björns Kristjánssonar kaupmanns í Reykjavík, sjá einnig Gísli Arason (2004). Björn gerir þó lítið úr staðnum í Alþingisumræðum 1922, og sömuleiðis Helgi H. Eiríksson eftir athuganir 1923 (Guðmundur G. Hagalín 1970, bls. 172). Aðstaða bæði til vinnslunnar og til að koma afurðinni til útlanda var mun erfiðara en í Reyðarfirði. Útflutningurinn stöðvaðist í fyrri stríðinu, en eftir það (frá 1921 skv. Helga H. Eiríkssyni 1943) fékk Þórarinn E. Tulinius réttindi til vinnslu og lét vinna ein þrjú sumur. Helgi H. Eiríksson (1930) kveður ekkert hafa verið unnið úr Hoffellsnámunni frá 1925 en Ari Trausti Guðmundsson (2003) segir silfurbergið á Þjóðleikhúsinu hafa verið sótt þangað, og Gísli Arason (2004) kveður það einnig vera í skreytingu í forsal. Síðast segir Guðmundur Jónsson hafa verið unnið í námunni 1938-39, m.a. til að afla silfurbergs og aragoníts í byggingu Háskóla Íslands (sbr. bók Páls Sigurðssonar: Úr húsnæðis- og byggingarsögu H.Í., 1986, bókarauki VI). Er silfurberg steipt í hvítleitar hellur er mynda súlur fyrir miðri byggingunni og kringum gaflglugga að utan, einnig (skv. Ara Trausta Guðmundssyni 2003) í þakköntum. Guðmundur Einarsson frá Miðdal setti mikinn fjölda silfurbergsstrendinga í litla hvelfingu innan við aðaldyr, sem og í 2x3 raðir (gylltar að innan) á altari kapellunnar á 2. hæð.

Eins og nefnt var í 24. kafla, taldi Þorvaldur Thoroddsen (1889, 1890, og víðar) vera möguleika á silfurbergsnámi í Djúpadal í Djúpafirði. Lítið hef ég athugað það, en rakst þó á frásögn í sjálfsævisögu Kristjáns Jónssonar frá Garðsstöðum, Af sjónarhóli, sem út kom 1970. Þar kveðst Kristján hafa farið ásamt öðrum til Djúpadals 1911 að kanna þetta mál að undirlagi félags í Reykjavík, en ekkert hafi orðið af silfurbergsvinnslu þar. Helgi H. Eiríksson skoðaði aðstaður í Djúpadal 1925 (Guðmundur G. Hagalín 1970, bls. 233) en fann ekki nýtanlegt silfurberg. Í Lesbók Morgunblaðsins 7. okt. 1951 er sagt að silfurbergið þar sé gulleitt en allmikið af því hafi verið sótt á seinni árum til nota í múrhúðun. Í umræðum á Alþingi 1922 var einnig nefnd jörðin Miðhús í nágrenni Djúpadals, en ekkert hef ég séð um hana annarsstaðar í þessu sambandi. Þorvaldur Thoroddsen nefnir í ritum sínum (og í skýrslu á Þjskjs.) Gvendarnes sunnan Fáskrúðsfjarðar og Akra á Mýrum vestra sem fundarstaði. Í Vesturheims-blaðinu Heimskringlu 14. júlí 1926 er jörðin Hjörsey á Mýrum auglýst til sölu, og þar sagt finnast silfurberg.

37.3 Útlönd 1910-40

Smávegis var unnið á einum stað í Montana í Bandaríkjunum fyrir 1918, og flutt út a.m.k. 600 pund (Parsons 1918). Ekki varð framhald á, þótt Parsons segi efnið frá Montana hafa vírst „the nearest approach to Iceland spar yet uncovered in any part of the world“. Tschirwinsky (1910) nefnir nýjan fundarstað silfurbergs á Krímskaga, en ekki hef ég nánari fregnir þaðan frá næstu áratugunum, utan Dammer og Tietze (1913, bls. 387), sem segja að Krím hafi „gelegentlich einige technisch brauchbare Mengen (von wasserhellem Kalkspat) geliefert“. Hughes (1937) segir lítilsháttar af silfurbergi frá Montana og Kaliforniu (líklega Cedarville, sem Kelley (1940) nefnir „a past producer“) hafa verið notað í bandarísk ljóstæki í fyrra stríðinu og ég hef séð kristalla þaðan nefnda í ritsmíðum um röntgengreiningar, en H. Schulz (í Wien-Harms 1928, sjá Viðauka 1a) kveður þá langflesta hafa verið lélega. Til eru þarlandar skýrslur um silfurbergsframboð eftir stríðið (Bowles 1920, Hughes 1931) sem ég hef ekki náð í.

Í riti South African Geological Survey (1936) kemur svo eftirfarandi fram:

„In the Union of South Africa, Iceland spar has been found in deposits sporadically distributed over a large area in the north-western Cape Province including portions of the divisions of Kenhardt, Calvinia, and Namaqualand...nearly all the Iceland spar produced has come from scattered deposits on the farms...situated some 50 to 70 miles southwest of Kenhardt.

No accurate statistics of the Iceland spar recovered from this area are available as the output from the various deposits has been small and the production intermittent; moreover most of it has been exported in small quantities by post and and no official control on the output has been exercised. It has been estimated, however, that since exploitation first began possibly 20 years ago, between 1,500 and 2,000 lbs. of Iceland spar have been exported from the Union.

...the Iceland spar is found in association with a good deal of worthless calcite. It occurs in the form of veins, lenses and isolated crystal aggregates of irregular shapes and sizes embedded in soft decomposed doleritic rocks, which occur abundantly in that area as dykes and sills...The Iceland spar in the Kenhardt area is recovered from shallow open workings none of which are deeper than 70 feet in the decomposed doleritic rocks.“

H. H. Hughes (1937; sjá einnig Kelley 1940) segir Kenhardt-svæðið hafa tekið við af Íslandi sem aðal-uppspretta silfurbergs í ljóstæki upp úr 1920. Á bls. 497 í 4. útg. ofannefndrar handbókar frá Suður-Afríku (1959 skv. L. Hughes, pers. uppl. 2000) og í 5. útg. (Coetzee 1976) er staðfest að svo hafi verið fram að síðari heimsstyrjöld. Það silfurberg hafi einkum verið selt til Þýskalands en síðar einnig Bandaríkjanna sbr. kafla 39.4. Eftir 1944 hafi Polaroid-þynnur „virtually eliminated commercial interest in Iceland spar“, og virðist þá kristallavinnslu þarna hafa verið hætt a.m.k. fram yfir miðjan sjöunda áratuginn. Í nokkrum bandarískum dagblöðum birtist á árinu 1939 fréttaskeyti frá Windhoek í Suðvestur-Afríku (sem þá var stjórnað af Suður-Afríku en var áður þýsk nýlenda og heitir nú Namibia). Þar hafi fundist silfurberg 1926 og verið sé að koma upp skipulagðri vinnslu til útflutnings; fram að því munu aðferðir við söfnun kristalla þar hafa verið óvandaðar (skv. viðauka í South African Geological Survey 1936).

Nýverið hafa mér áskotnast heimildir um stóra kristalla sem menn rákust á um 1920 í gullnámu við Lionsville í New South Wales í Ástralíu (Smith 1926, tilvitnað í pers. uppl. frá T. Krassmann 2005). Þar var mikið magn kalkspatkristalla í holrými 70 x 16 x 9 fet að stærð, að nokkru leyti tært silfurberg. Um 1924 kom þangað starfsmaður Zeiss-fyrirtækisins (að líkindum R. Straubel) sem réði fólk úr nágrenninu til að búa kristallana í sundur, búa um þá í trékössum og senda til Þýskalands. Gott silfurberg kom frá Spáni „within the past few years“ samkvæmt Hughes (1937), og síðar líklega frá Síberíu eða Japan (sjá t.d. Helga H. Eiríksson 1943, og kafla Tómasar Tryggvasonar í Náttúru Íslands 1961). Coetzee (1976) nefnir að auki m.a. Cornwall, Harz-fjöll í Þýskalandi, Mexíkó og Kanada.



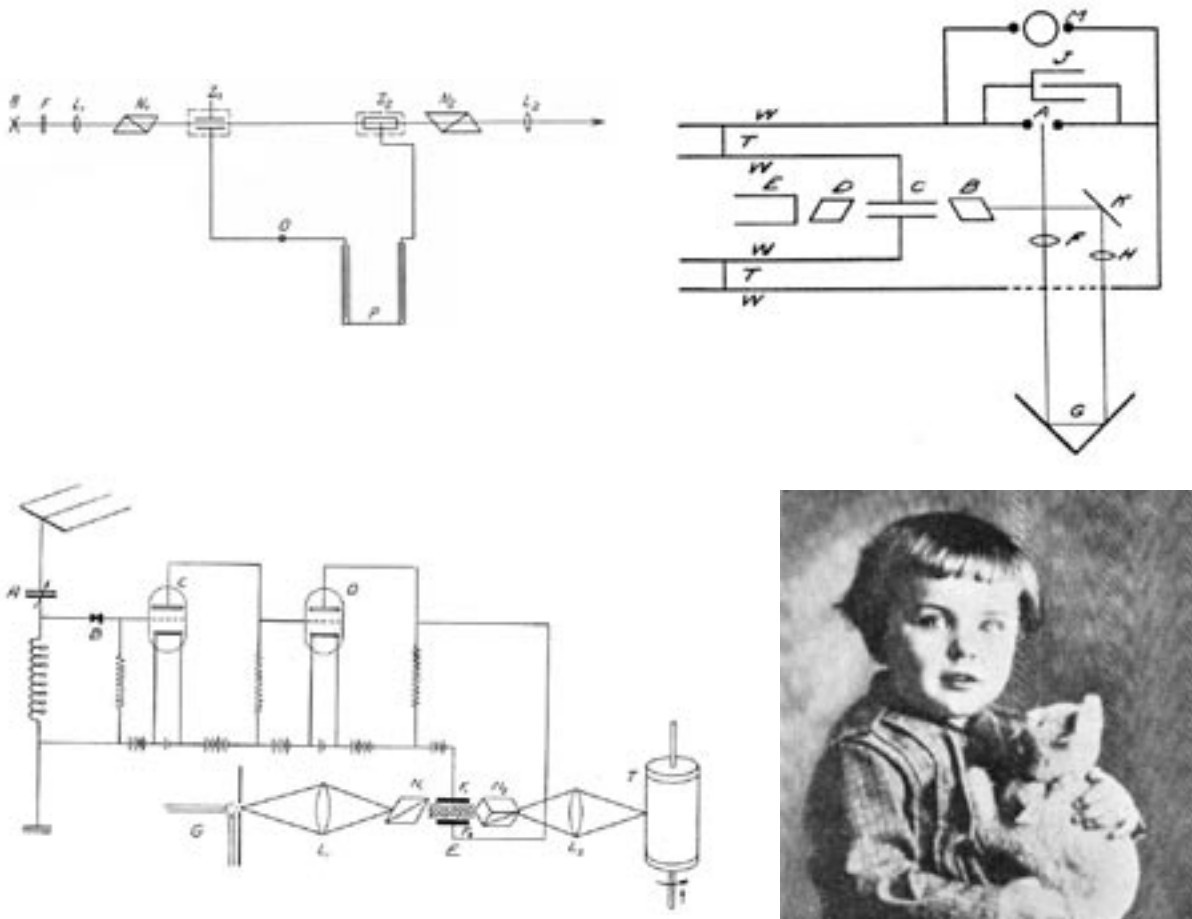
38 Faraday-hrif og Kerr-sellur, einkum 1920-40

38.1 Rannsóknir á snöggum fyrirbrigðum

Látum venjulegan ljósgeisla fara gegnum Nicol-prisma, síðan gegnum nokkurra cm langt glerílát með nítróbenseni eða CS_2 milli háspennu-rafpéttisplatna (Kerr cell, sjá 23. kafla), og setjum svo annað Nicol-prisma með ás sinn hornrétt á hið fyrra þannig að ekkert ljós kemst alla leið. Ef sterkri rafspennu er hleypt á péttisplötunarnar þannig að vökvinn fái talsvert tvöfalt ljósbrot, virkar hann eins og fasajafnari (kafla 13.5) og veldur því að hluti af ljósinu kemst gegnum seinna prismað. Þessi búnaður er því stýranlegt ljóshlið (slökkvari), og var um 1920 hægt að gera hann a.m.k. þúsund sinnum hraðvirkari en mekaniska slökkvara fyrir ljósgeisla (t.d. gataðar málmskífur eða speglandi strendinga, sem snúið var af rafmótor). Skv. McGraw-Hill (1992) má koma tímanum sem það tekur að kveikja eða slökkva ljós með Kerr-sellu, niður í nokkrar nano-sekúndur.

Kerr-sellurnar voru m.a. notaðar á árabílinu fram til 1940 við athuganir á mjög skammvinnum fyrirbrigðum, svo sem á líftímum flúrljómunar litarefna í vökvum (í 1-10 ns, Gottling 1923, Gaviola 1926, 1929, sjá Bruhat 1942, bls. 738) og örvaðra ástanda í lofttegundum (Hupfeld 1929, Griffiths 1934). Brown og Beams (1925, *Mynd 38-1*), Lawrence og Dunnington (1930), Hámos (1930) og fleiri rannsökuðu með þessari tækni ýmis atriði varðandi það hvernig rafneistar myndast.

Í kafla 13.1 var minnst á rannsóknir á því hve lengi ljósgeisli héldi takti sínum án fasabreytingar, og eftir að skammtafræðin tóku völdin varð ekki síður forvitnilegt að vita hve „löng“ ein ljóseind væri. Reynt var þannig m.a. að mæla með Kerr-sellum tímann sem það tæki ljós að losa rafeind úr málmfleti (Lawrence og Beams 1927), en niðurstöður voru e.t.v. ekki marktækar. Rupp (1928) athugaði hvort litróf einlits ljósgeisla sem „klipptur“ var niður í stutta búta með Kerr-sellum, breyttist á tiltekinn hátt. Var það í framhaldi af svipuðum tilraunum með snúd-spegli sem hann hafði gert í samráði við A. Einstein til þess að sannprófa tilteknar forspár skammtafræðinnar. (Seinna hefur raunar orðið ljóst að grein sem Rupp skrifaði 1926 um hina fyrri tilraun sína sem og aðrar sem hann birti eftir 1930 voru að miklu leyti skáldskapur, sjá samantekt A.P. French í tímaritinu *Physics in Perspective* 1, 3-21, 1999). Stauffer (1930) benti á galla í tilraun Rupp (1928) og endurbætti hana (*Mynd 38-2*) til þess að kanna atriði sem skammtafræðingar höfðu talið að gætu breyst í litrófinu við klippinguna, en ekkert óvænt kom



Mynd 38-1. Hagnýting Kerr-hrifa. Að ofan t.v.: Samanburðarmæling Guttons (1911a) á ljóshraða í lofti (lárétt efst) og hraða rafsegulbylgju eftir vírum. O er sveifflugjafi, P er búnaður til að breyta lengd víranna. Z_1, Z_2 eru Kerr-sellur og N_1, N_2 eru Nicol-prismu. Mynd úr Wien-Harms (1928). T.h.: Rannsókn Browns og Beams (1925) á myndunarferli háspennu-rafneista í gapinu A. G er spegill sem hægt er að færa fjær til að seinka ljósinu sem greint er í litrófs-sjánni E. B og D eru Nicol-prismu, C er Kerr-sella. Að neðan t.v.: Móttökubúnaður fyrir myndsendingar með útvarpsbylgjum. Merkið úr loftnetinu vinstra megin stýrir spennunni á Kerr-sellunni við E, þannig að mismikið ljós kemst frá ljósinu G á ljósmyndapappír á tromlunni T meðan hún snýst. T.h.: Ljósmynd send með þessari tækni á einni mínútu. Myndirnar eru úr alþýðlegri fræðibók: Teknikens Vidunderland, ritstj. V. Marstrand, Kaupmannahöfn 1928. Svipuð teikning af móttökubúnaðinum er t.d. í bandarísku einkaleyfi no. 1,730,772 veittu A. Karolus 1929.

þar fram. A. Righi (1883) hafði áður gert tilraunir af þessu tagi með Nicol-prismum sem snerust, og löngu síðar varð svona tíðnimótun ljóss og annara rafsegulbylgja tæknilega mikilvæg.

F. Allison (t.d. Beams og Allison 1927) gerði mælingar á því hve langan tíma það tæki Faraday-hrif að komast á í ýmsum vökvum í segulsviði eftir að kveikt var mjög snögglega á því. Með samstarfsfólki þróaði hann upp úr þeim á næstu árum aðferð til efnagreininga, og átti hún einnig að duga til að gefa vísbendingar um þær samsætur sem fyrirfyndust af hverju frumefni í vökvunum. Ein niðurstaða sem Allison kynnti á prenti um 1931, var sú að þung samsæta af vetni væri til, og hvatti það ásamt öðru H.C. Urey til að hafa forgöngu í umfangsmiklu verki við að einangra þessa samsætu og kanna eiginleika hennar, sjá t.d. Urey (1934). Rannsóknir Ureys báru merkan árangur sem honum var umbunað fyrir með Nóbelsverðlaunum 1934, en á því ári var jafnframt sýnt fram á (Phys. Rev. 47, 310-315 og 546-548, sbr. erindi eftir I. Langmuir birt í Physics Today, okt. 1989, bls. 36-48) að niðurstöður úr „magneto-optic“ greiningum Allison-hópsins væru að mestu leyti tómt rugl !

38.2 Faraday-hrif og Kerr-sellur í fjarskiptatækni

Meðal fyrstu hugmynda á prenti um leiðir til að senda myndir um víra milli staða, var stutt grein eftir W. Lucas (1882). Byggði hún eins og fleiri á því að rafleiðni frumefnisins selens breytist þegar ljós fellur á það. Lucas stakk upp á að því ljósmagni yrði breytt með því að snúa einu Nicol-prisma miðað við annað, hliðstætt við það sem gert var í ljósmælunum í köflum 18.4 og 29.4 hér á undan.

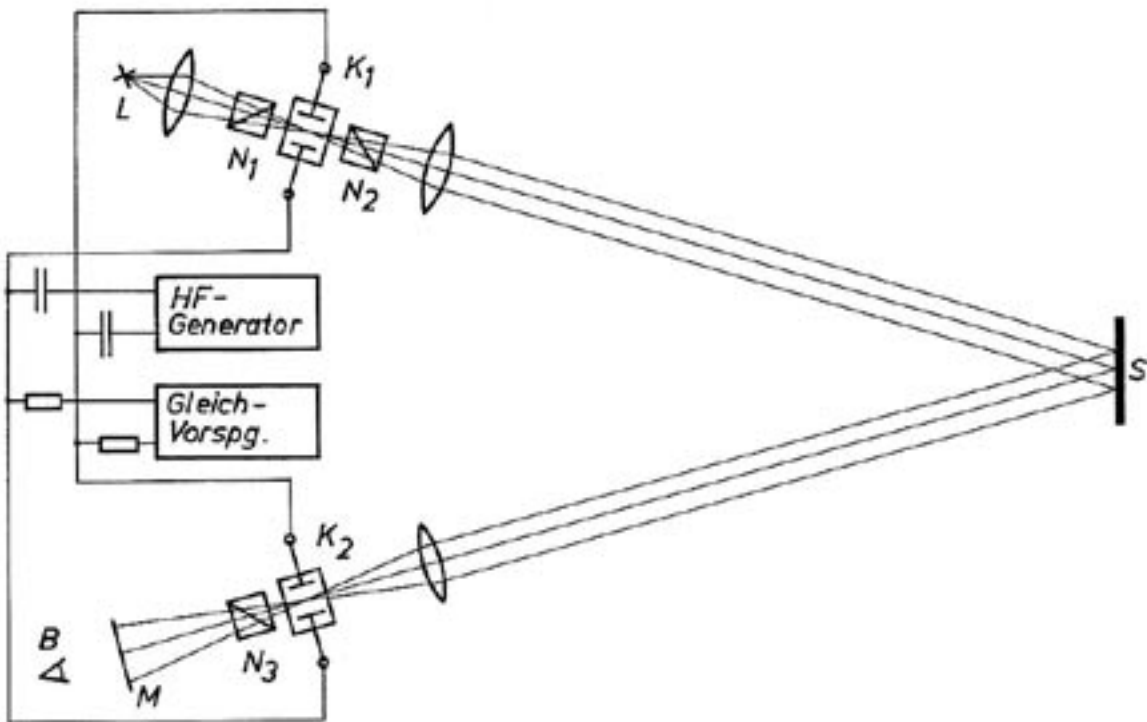
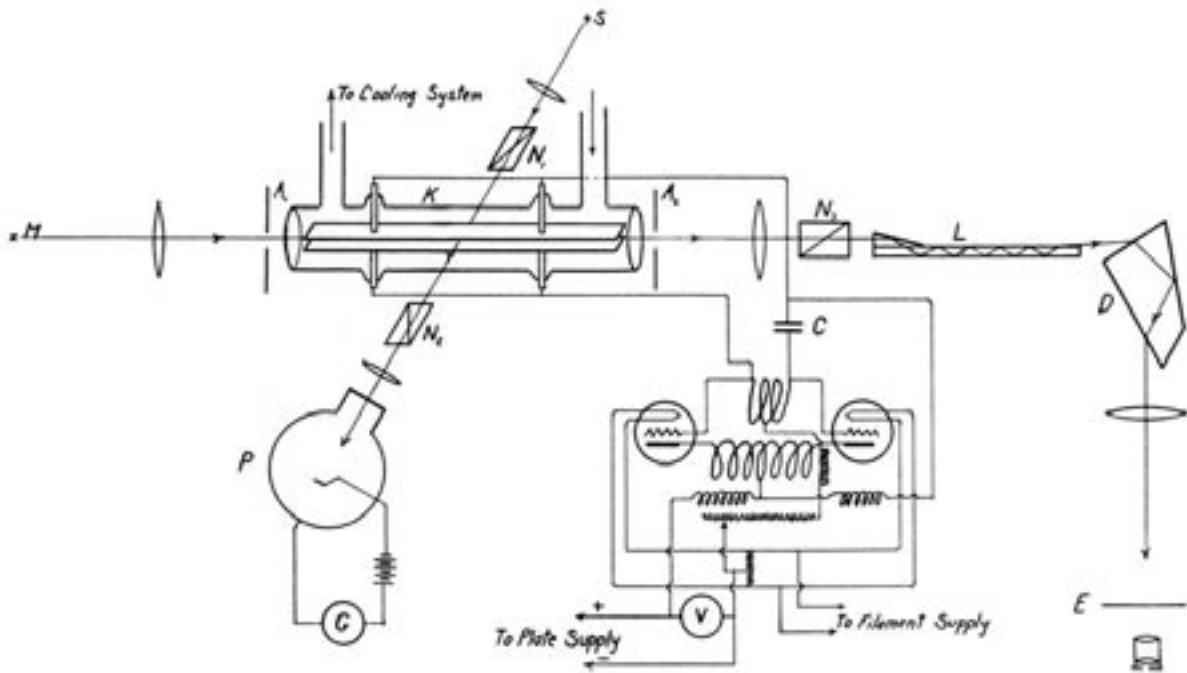
Tveim árum síðar fékk ungur maður, P. Nipkow, þýskt einkaleyfi nr. 30105 fyrir tæki er hann nefndi „Elektrisches Teleskop“ til að senda mynstur af ljóspunktum milli staða, og láta auga móttakandans sjá þá á svo stuttum heildartíma (0,1 sek.) að honum sýndist það vera heil mynd. Í móttökutækinu áttu að vera Nicol-prismu og ljósmagninu gegnum þau stýrt með Faraday-hrifum í gleri eða CS₂.

Um 1909 kynnti G. Rignoux aðferð til sendinga á myndum milli staða. Er tæki hans (Rignoux 1914) talið vera fyrsti myndsendibúnaðurinn sem smíðaður var og sýnt fram á að virkaði, með því að hann sendi myndir af fjórum stórum bókstöfum. Í móttökubúnaðinum var lýsingu stýrt eins og hjá Nipkow, með Faraday-hrifum í CS₂.

Nipkow sjálfur lét hugmynd sína liggja þangað til hann fór á eftirlaun 1919, og var þá einnig kominn möguleiki að senda slíkar upplýsingar með loftskæptum. Eftir frekari þróun hans á samstilltum gataskífum fyrir upptöku- og sendibúnaðinn var einkaleyfi (útgefið 1924) á þeim búnaði keypt af fyrirtækinu Siemens & Halske 1930. Deutsche Biogr. Enzyklopädie segir A. Karolus hafa búið til sjónvarpstæki byggt á Kerr-sellu tækni 1924, og kom hún líklega í stað Faraday-sellunnar sem ekki hafi verið hagkvæm. Fékk Karolus ýmis einkaleyfi á notkun Kerr-sella í þessum tilgangi og öðrum á næstu árum. Í sumum af fyrstu tilraunum til sjónvarpssendinga (gerðum t.d. með stórum sýningartjöldum af J.L. Baird o.fl. 1931-32 og af Fernseh AG 1933 eða 1934) voru Kerr-sellur notaðar, sjá t.d. Wright (1932), fréttir í The Times 6. jan. 1931, og grein eftir R. Barthélemy í Rev. Sci. 9. des. 1933. Nokkuð reglubundnar sendingar í Berlín hófust vorið 1935 og voru sett þar upp 15 tjöld eða skjáir fyrir almenning, en sendistöðin brann síðsumars. Baird virðist síðast hafa notað þessa tækni við sýningar 1937, sjá frétt í The Times 5. jan. það ár. Katóðugeisla-lampar sem þróuðust ört á fjórða áratugnum, tóku síðan alveg við hlutverki bæði gataskífanna og Kerr-sellanna í sjónvarpstækni.

Um 1926 voru áður nefndur Karolus og samstarfsmenn hjá Siemens og Telefunken byrjaðir að nota endurbætta tegund Kerr-sella til að gera afrit mynda, sem skannaðar höfðu verið með fotosellum langt fjarri og sendar með síma eða þráðlaust eins og fax-skeyti löngu síðar. Ekki var þarna um algera nýjung að ræða, því aðrar aðferðir höfðu verið í notkun við myndasendingar allt frá 1907 (skv. A. Korn í Naturwissensch. 1925). Eftir víðtækar prófanir var kynnt opinberlega um áramót 1927-28 þjónusta við slíkar sendingar á ljósmyndum, bankaskjölum, fingraförum afbrotamanna, verkfræðiteikningum o.fl. milli Vínarborgar og Berlínar skv. frásögnum í The Times. Sjá *Mynd 38-1* frá 1928. Frétt um samskonar myndasendingar með stuttbylgjum frá Bandaríkjunum til Englands er í The Times 4. feb. 1929, og E.V. Appleton (1929) lýsir tæknilegum endurbótum á þeim um haustið. Þess má geta í leiðinni, að Appleton var þá að rannsaka hvernig útvarpsbylgjur bærust gegnum jónhvolf jarðar eða endurköstuðust frá því. Ein uppgötvun hans var sú að jónhvolfið hefði tvöfalt ljósbrot fyrir bylgjurnar, vegna áhrifa segulsviðs jarðar. Fyrir þær rannsóknir sínar hlaut Appleton Nóbelsverðlaunin í eðlisfræði 1947. Myndasendingar með Kerr-sellum stóðu yfir a.m.k. fram á miðjan fjórða áratuginn (Küpfmüller 1936).

Með hjálp Kerr-sella er einnig einfalt að nota hljóðbylgjur til að móta styrk ljósgeisla, og var það prófað til tal-fjarskipta kringum 1930 (West og Jones 1951, o.fl. heimildir), en reyndist



Mynd 38-2. Hagnýting Kerr-hrifa. Að ofan: Stauffer (1930) skoðaði hvernig róf grænu línunnar (546,1 nm) í ljósi sem kemur frá vinstri úr kvikasílfurslampa, breyttist við að vera klippt sundur í búta í Kerr-sellunni K. Rófið var greint mjög nákvæmlega með Lummer-Gehrcke plötunni L, Nicol-prismað N_3 bætir upplausnarhæfni hennar. Að neðan: Mæling á ljóshraðanum, gerð af Karolus og Mittelstaedt (1928). Þeir notuðu Kerr-sellurnar K_1 og K_2 sem stýrt var af nákvæmum riðspennugjafa, til að mæla ferðatímann til og frá speglinum S (um 40 m hvora leið) á sama hátt og H. Fizeau hafði gert með snúningi tannhjóls 1849. Anderson (1937) og Hüttel (1940) höfðu svipaða uppsetningu en m.a. fotosellu í stað mannsaugans og betri mælingar á tíðni spennunnar.

ekki hagkvæmt enda langt í að laser-tæki og ljósleiðarar létu mönnum lífið þar. Sama tækni var í prófun við að skrá hljóðrásina á kvikmyndafilmur á þriðja áratugnum, og fyrsta kvikmyndin með tali, *The Jazz Singer*, var gerð í Bandaríkjunum 1927. Ekki hef ég fundið út hvaða tækni var notuð við hana eða næstu myndir, en Gibson (1929) segir talmyndagerðina enn vera að slíta barnsskónum þar vestra. Hinsvegar sé fyrirtæki í Þýskalandi komið á fleygiferð í upptöku vandaðra talmynda þar sem Kerr-sella stýri hljóðinu. Aðferðin var í notkun nokkuð fram yfir 1930 samkvæmt Pauthenier (1932), Waetzmann (1934, 12. kafli), og Bruhat (1942, bls. 518), og allmörg einkaleyfi voru veitt bæði austan hafs og vestan á tengdri tækni. Það dró úr áhuga á aðferðinni, að nítrobensen er allmjög eitrað og að auki eru Kerr-hrifin í því viðkvæm fyrir óhreinindum sem geta safnast í það við notkun. Um 1950 var byrjað að gera tilraunir með Pockels-hrif (sjá kafla 39.6) í ammonium-fosfatkristöllum til að taka við af Kerr-hrifunum, meðal annars við að setja hljóð á kvikmyndir (Carpenter 1953).

38.3 Kerr-sellur og ljóshraðinn

Hugmyndir um að nota Kerr-sellur til að mæla hraða ljóssins voru settar fram 1899, og Brunhes (1900) sýndi að hraði röntgengeisla var eitthvað svipaður honum. Brace (1905a) stakk upp á tilraun til að kanna hraða jarðar miðað við ljósvakann með Kerr-sellum. Gutton (1911a, *Mynd 38-1*) bar hraða ljóss í lofti saman við hraða rafsegulbylgna sem fóru eftir vírum, og munaði innan við 1%. Gutton (1911b) staðfesti einnig með Kerr-sellu mælingum kenningar um svonefndan grúppuhraða ljósbylgna í tvístrandi efnunum. Um 1925 ræddu A. Karolus sem nefndur var hér á undan, Gaviola (1926) og aðrir um að gera beina mælingu á ljóshraðanum á þennan hátt, og niðurstöður voru svo birtar af Karolus og Mittelstaedt (1928) og Mittelstaedt (1929). Virkaði þá Kerr-sella með hátíðni-spennu (3-7 MHz, 6000 V) sem ljóshlið, en kvarðaður rafeindalampa-sveifflugjafi sem klukka til að mæla tímann sem það tæki ljósið að fara þekktu vegalengd (um 330 m, fjórum sinnum hvora leið í *Mynd 38-2* að neðan). Síðar voru ljóshraðamælingar gerðar með Kerr-sellu tækni af Anderson (1937) og Hüttel (1940). Nicol-prismu voru í þessum tækjum, en í mælingum sem Anderson birti 1941 og E. Bergstrand 1950 (sjá West og Jones 1951; Jenkins og White 1957) komu Polaroid-þynnur í stað prismanna.

Hvernig sem á því stóð, gáfu Kerr-sellu mælingarnar á árunum 1928-41 ljóshraða sem var of lágur um 15 km/s eða meir. Mælingar sem A.A. Michelson gerði 1924-27 með áttköntuðum spegla-snúð á 35 km loftlínu, reyndust réttari þótt þar geti tilviljanir hafa ráðið (Birge 1941). Um 1948 var ljóshraðinn orðinn nógu vel þekktur og rafeindatæknin nógu vel þróuð til þess að hægt væri að snúa dæminu við, og voru Kerr-sellur notaðar næstu tvo áratugi eða svo í fjarlægðarmæla í landmælingatækni (Rinner og Benz 1966).

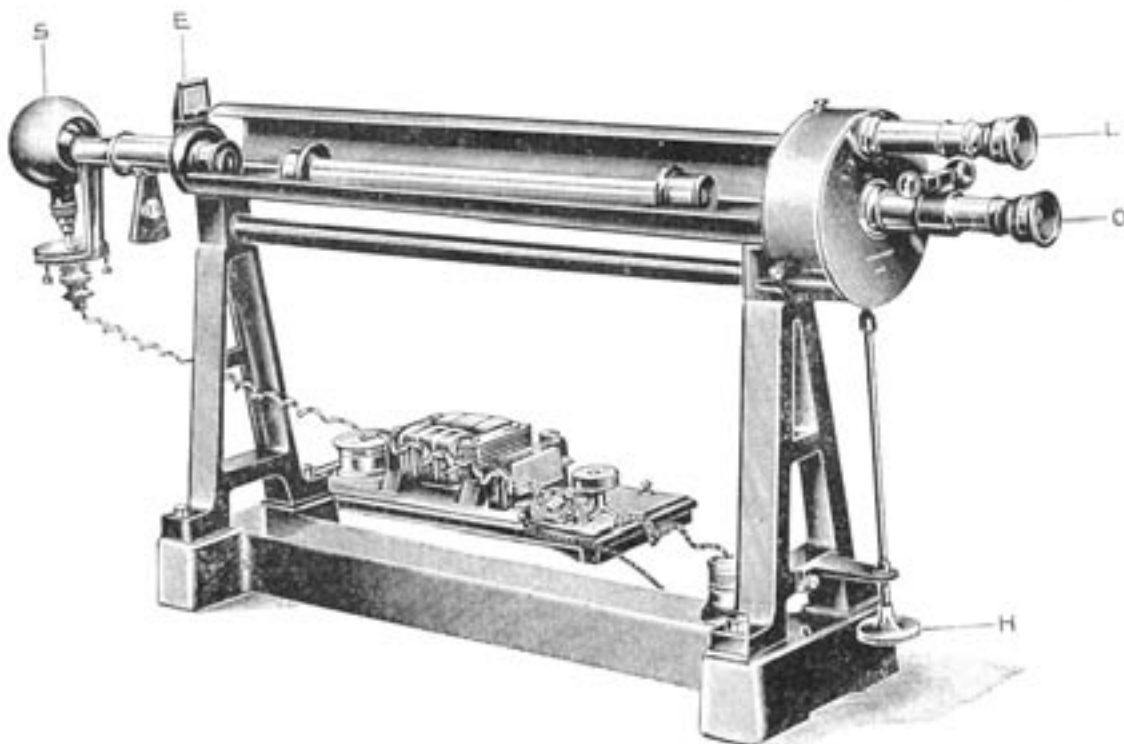
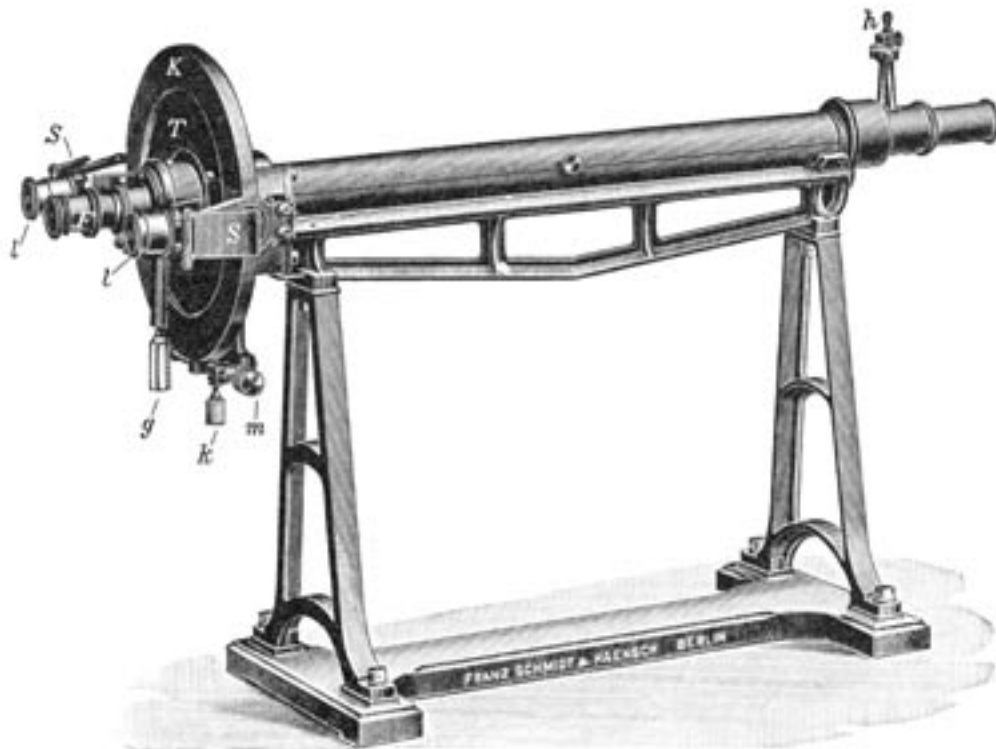


39 Um nýjungar í notkun silfurbergs um og eftir 1930

Þegar komið er fram yfir 1920-25, fara líkur minnkandi á að Nicol-prismu og aðrir íhlutir í nýjum ljóstækjum komi úr námunum á Helgustöðum og Hoffelli. Sumir framleiðendur hafa þó e.t.v. enn átt efnisbirgðir ættaðar þaðan. Í ýmsum tilvikum hafa eflaust vísindamenn sem vantaði eitt eða tvö prismu í tímabundnar tilraunauppsetningar, fengið eldri eintök lánuð hjá öðrum (t.d. Rayleigh yngri 1921) eða tekið úr tækjum sem var hætt að nota. Hér verður því sagt frá nokkrum atriðum sem gefa vísbendingar um ýmis notkunarsvið silfurbergs næstu áratugi, og árangur þar.

39.1 Framleiðsla tækja með Nicol-prismum frá um 1920

Waesche (1960) telur hinar endurbættu Polaroid-þynnur hafa „virtually eliminated demand for optical calcite“ eftir 1944, þótt sumir vilji frekar hafa Nicol-prismu í tækjum sínum. Zirkel (1961) segir einnig 1959 að þær „stellen für die allermeisten Fällen einen vollwertigen Ersatz der Kalkspatprismen vor“. Þeir eru þó e.t.v. að ýkja þarna, því að til dæmis var áhugi einmitt að aukast upp úr 1940 á notkun skautunarsmásjáa í líffræði (Vickers 1956) og þar dugði Polaroid ekki ef mikillar næmni var krafist. Cotton og Manigault (1946) vilja jafnvel frekar reyna að nota glerspegla en Polaroid í bergfræðismásjár. Meðal prisma úr silfurbergi til skautunar ljóss sem kynntar voru á árabílinu 1928-60 eru hálfskuggaprisma Schönrocks (1928, bls. 750), lítið prisma Cottons (1931) af Dove-gerð, Nicol-prismu með „risi“ (Dowell 1931), ósamhverf kalkspat/gler Rochon-prismu (Hardy 1935), Foster-prisma fyrir endurkasts-smásjár frá 1938, Glan-Taylor prisma (Archard og Taylor 1948), prisma Bouhets og Lafonts (1949), Marple-Hess prisma frá 1960, tvöföld Frank-Ritter prisma o.fl. Um þróun fasajafnara má lesa t.d. í Jerrard (1948). Houben-Weyl (1955) og Moenke og Moenke-Blankenburg (1965) lýsa margskonar vönduðum polarimetrum með silfurbergsprismum, frá framleiðendum víða um lönd. Þróun prismanna hefur haldið áfram eins og m.a. má lesa um í Bennett og Bennett (1978). Margskonar rannsóknir eru gerðar með svo mjög útfjólubláu eða innrauðu ljósi að kalkspat er orðið ógegnsætt; á þeim bylgjusviðum hafa komið fram skautunarprismu t.d. úr títan-oxíði (rútil) og magnesíum flúoríði, svo og skautunarspeglar.



Mynd 39-1. Efri mynd: Polarimeter frá Schmidt & Haensch, með hálfskugga-prisma Lippichs. Mynd úr verðlista Struers (1925). Neðri mynd: Sakkarimeter, að líkindum franskur. S er raflampi. Athugandi horfir í O og snýr H uns hálfskuggarnir eru eins, les síðan af kvarða með L. Mynd úr Bruhat (1942).

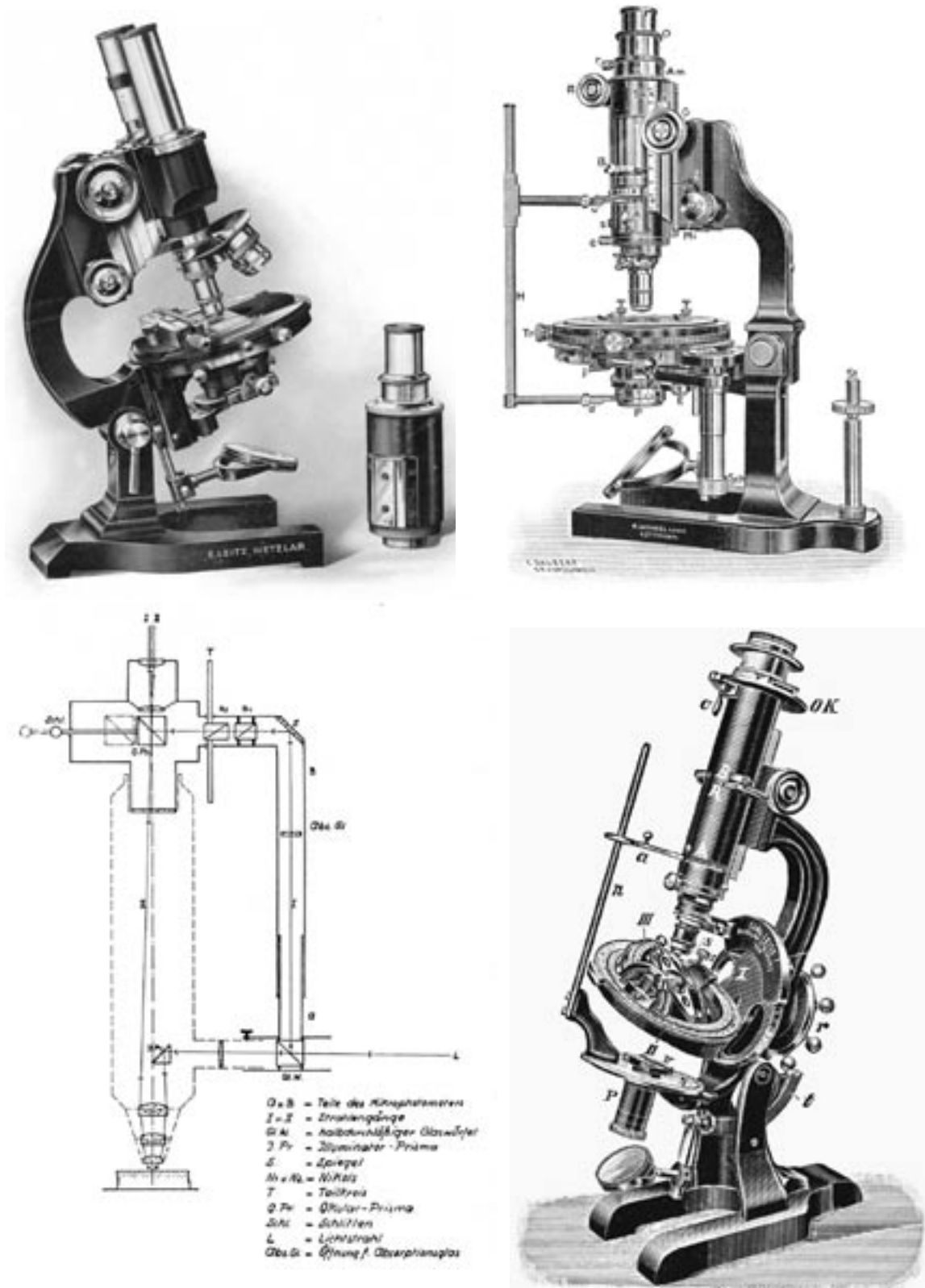
Polarimetrar af Wild-gerð voru lengi boðnir til sölu af J.G. Hofmann í París, Hermann & Pfister í Bern, H. Heele og Franz Schmidt & Haensch í Berlín og e.t.v. fleirum, en smíði þeirra var hætt um eða fyrir 1920 sökum ónógrar nákvæmni (Browne 1912; Schulz og Gleichen 1919; Kessler 1926) og áreynslu á augu við mælingarnar (sbr. Cornu 1870). Meðal fyrirtækja í Evrópu sem smíðuðu polarimetra eftir 1920 voru A. Hilger og Bellingham & Stanley í London, C. Reichert í Vínarborg, Schmidt & Haensch og C.P. Goerz í Berlín, J. & J. Fric í Prag, Ph. Pellin og Jobin & Yvon í París, og R. Winkel í Göttingen (skv. Tutton 1922, bls. 1093, Struers 1925, Bruhat 1930, Bates o.fl. 1942, og verðlistum). Í Bandaríkjunum voru áðurnefndir Bausch & Lomb ásamt Gaertner í Chicago væntanlega stærstu framleiðendurnir um 1940. Sjá dæmigerð tæki í *Mynd 39-1*.

Ekki þarf að orðlengja um vísindalegt og efnahagslegt mikilvægi smásjarrannsókna á steindum alla 20. öldina. Bækur Johannsens (1914, bls. 199) og Rosenbusch (1924) telja upp helstu framleiðendur bergfræðismásjáa á Vesturlöndum. Meðal þeirra sem fyrstir hófu þá smíði voru að líkindum R. & J. Beck og J. Swift í London, A. Nachet í París 1875, R. Fuess í Steglitz, og Steeg & Reuter í Homburg. Einnig má nefna E. Leitz (sjá t.d. Lincio 1907) og W. & H. Seibert í Wetzlar, C. Reichert í Vínarborg, C. Zeiss í Jena (Czapski 1891a,b), R. Winkel í Göttingen (t.d. Wülfing 1918), Sociétés Genevoise í Genf, C. Leiss í Steglitz (sjá Leiss 1925; hann vann áður hjá Fuess), og Bausch & Lomb í Rochester, New York. Sterk staða Þjóðverja í þessari framleiðslu er eflaust tengd því, að á vegum Zeiss-fyrirtækisins hafði lengi verið stundað mjög öflugt rannsóknastarf og þróun á bæði glertegundum og linsubúnaði (sbr. t.d. Moe 1990). Sjá *Mynd 39-2*.

Fyrirtækin C. Reichert og E. Leitz voru einnig þekkt fyrir endurkastssmásjár sínar, t.d. fjölhæft tæki Scheffers (1919). Schneiderhöhn (1922) samdi kennslubók um notkun þeirra, sjá *Mynd 39-2*, og Leitz hóf að selja slíka smásjá með Nicol-prismum 1923. Glaser (1924) lýsir ýmsum atriðum varðandi hönnun skautunarsmásjáa, m.a. til að kanna innri spennur í málmblöndum. Lausleg skoðun mín á ýmsum vefsíðum bendir til þess að skautunarbúnaður sé nokkuð algengur í smásjám til málmrannsókna, en hann hafi ekki gegnt eins mikilvægu hlutverki þar og í rannsókn málmsteinda. Þetta mun m.a. stafa af því að margir algengir málmar og málmblöndur kristallast í kubiska kerfinu og í öðrum er endurkastið oft ekki mjög háð skautunarstefnunni. Í yfirlitgrein eftir Mott og Haines (1951) er sagt að úran (orthorhombiskt) og beryllium (hexagonal) hafi verið skoðuð einna mest allra málma í skautunarsmásjám, og tengist það lykilhlutverki þeirra í nýtingu kjarnorkunnar.

Ég hef lítt skoðað þróun í framleiðslu skautunar-ljósmaela fyrir hvítt ljós eftir 1920, en til dæmis útbjó Danjon (1926) lítið tæki af Wild-gerð til mælinga á birtu stjarna af ljósmyndafilmum og til kvörðunar reykglærja í aðra ljósmaela. Þá má nefna hér ljósmælubúnað Fricks (1930) fyrir endurkastssmásjár. Berek (1931) hjá Leitz ritaði tímamótgrein um nákvæmar greiningar málmsteinda í slíkum smásjám þar sem Nicol-prismu voru notuð til að mæla bæði skautun og ljósmagn. Til þess að sú aðferð yrði framkvæmanleg, fann hann upp nýtt glerprisma sem breytti stefnu ljósgeisla um 90° án þess að hafa áhrif á skautunarástand hans (þýskt einkaleyfi 630359, veitt 1936). Beck (1943) kynnti endurbætta gerð Martens-ljósmælanna í miðri heimsstyrjöldinni. Í kennslubók Bergmann-Schaefer (1959) er sagt að prismun séu „für Photometerzwecke besonders gut geeignet“. Þar er mynd af þeirri tegund sem og af skautunar-ljósmælinum „Leifo“ sem E. Leitz hóf að framleiða 1933. Leifo var lengi vinsæll til litmælinga, m.a. í rannsóknum á málmum og málmblöndum, í lífefna- og læknávisindum, og við efnagreiningar varðandi umhverfismál. Mælar af Martens-gerð voru einnig í notkun vestanhafs fram yfir 1950.

Ýmsar tegundir litrófs-ljósmæla sem ekki byggðu á skautun ljóss voru þróaðar frá 1870 og fram eftir 20. öld. Mælar með Nicol-prismum héldu þar samt velli að einhverju leyti fram yfir 1950. Skinner (1923, bls. 736-7), Optical Society of America (1925) og Houstoun (1927)



Mynd 39-2. Smásjár-nýjungar. Að ofan t.v.: Smásjá m.a. til skoðunar málmsteinda (Scheffer 1919), frá E. Leitz. Mynd úr Schneiderhöhn (1922). T.h.: Vönduð smásjá hönnuð af Wülfing (1918) og framleidd af R. Winkel. Mynd úr Leiss (1925). Að neðan t.v.: Ljósmaelir Fricks (1930) með Nicol-prismum fyrir Leitz endurkasts-smásjár. T.h.: Veltiborðs-smásjá Leiss (1925) með ýmsum endurbótum frá fyrri þesskonar tækjum.

fjalla stuttlega um þá, og segir Houstoun á bls. 324 þá vera „much the most popular“ af slíkum mælum. Tæki byggt á hönnun Nuttings (1911) var allavega framleitt til sölu kringum 1920 (sjá spænsku alfræðibókina Encicl. Universal Ilustrada frá 1924), svo og mælir Lemons (1914, *Mynd 39-3A*), nýr fjölhæfur mælir frá verkstæði Jobins (1922) og annar frá Hilger Ltd. (Dowell 1931, *Mynd 39-3A*). T. Swensson segir í kafla um ljósefnafræði í Abderhaldens Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden 1926: „Die besten Spektralphotometer beruhen auf dem Polarisationsprinzip“, og nefnir þar Hufner-mælinn og þó sérstaklega König-Martens mælinn sem nota megi á allt sýnilegt ljós. Weigert (1927, bls. 193) kveður sömuleiðis mæli síðarnefndu gerðarinnar, sem framleiddur var af firmanu Schmidt & Haensch, vera „besonders günstig“ og „sehr brauchbares Laboratoriumsinstrument“. Laszlo (1928) segir í grein um aðferðir til ljósgleypnimælinga, að „most of the methods for investigating the visible spectrum“ byggi á Nicol-prismum, og nefnir þar nýjan litrófs-ljósmaeli frá Bellingham & Stanley auk König-Martens tækisins; það síðarnefnda og a.m.k. þrjú önnur voru á markaðnum vestanhafs um 1940 (sjá Bates o.fl. 1942, bls. 304-310).

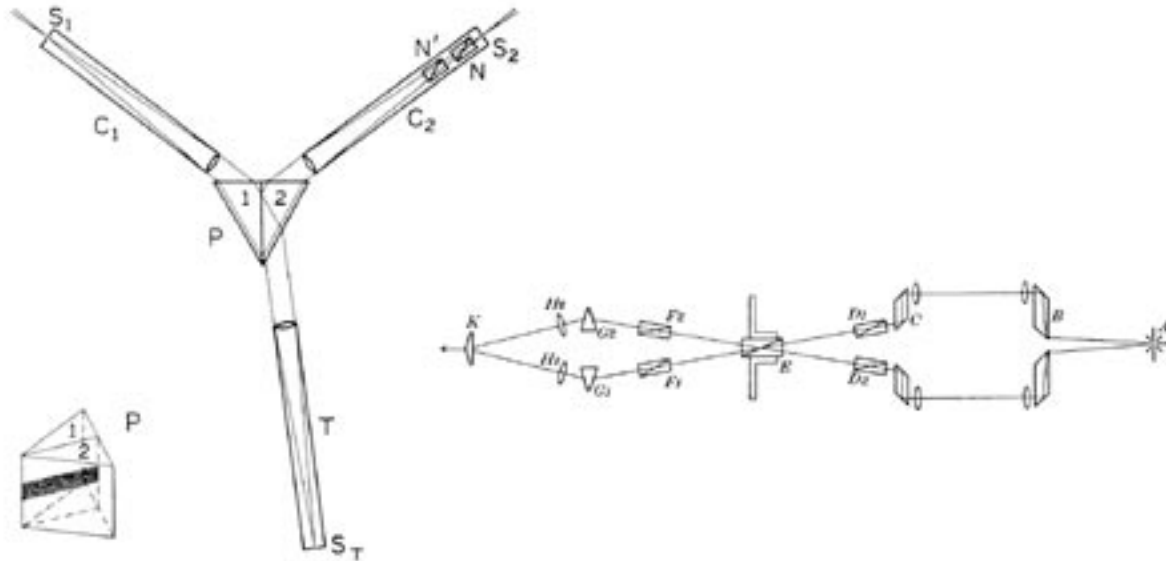
Í kafla 29.4 var minnst á flökt-ljósmaela, sem sumir voru af skautunar-tegundinni. Rafræn skráning hentaði vel fyrir þá, því að auðvelt var að magna merkið, jafna það út og skrá með sírita (t.d. Tardy 1928, Bruhat og Chatelain 1933, Hardy 1935). Eitt slíkt tæki með Rochon-, Nicol- og Wollaston-prismum var fjöldaframleitt af General Electric Co. eftir hönnun Hardys (1935, 1938). Það þjónaði brátt á margskonar vettvangi, svo sem í kvörðun lausna fyrir litmæla, í málmiðnaði, við smíði fyrstu kjarnorkusprengranna (skv. bókinni Analytical Chemistry of the Manhattan Project, sem út kom 1950), og í þróun litarefna fyrir ljósmyndaiðnað.

Um eða fyrir 1920 var áhugi efnafræðinga á notkun litrófs-ljósmaelinga með útfjólubláu ljósi (einkum til að kanna ljósgleypni efna í ýmsum tilgangi) orðinn nógu útbreiddur til að tækjasmíðir færu að auglýsa slíka mæla til sölu. Til dæmis nota Lowry og French (1924) nýlegan mæli sem að líkindum var með Nicol-prismum (sagður svipaður Nutting-mælinum úr kafla 29.5) til rannsókna á kamfóruefnum, og segja þau hann taka fram öðrum tegundum útfjólublárra litrófs-ljósmaela sem verið hafi á markaðnum. Weigert (1927, bls. 125-130, 156-157, 199-200) kveður útfjólubláan mæli af König-Martens gerð vera fánlegan frá Schmidt & Haensch, og lýsir einnig sérstökum afbrigðum þeirra tækja til mælinga á varmageislun o.fl.

39.2 Stjörnuathuganir B. Lyots og annarra

B. Lyot (1926, *Mynd 39-4B*) smíðaði næman polarimeter með silfurbergspynnu í, til að mæla hlutfall línulega skautaðs ljóss í bland við óskautað, þegar það hlutfall var mjög lágt (niður í 0,1%). Hann beindi þessum mæli m.a. að tunglinu og fimm reikistjörnum (Lyot 1923, 1929 o.fl.) og bar niðurstöðurnar saman við ljós sem endurkastaðist frá ýmiskonar yfirborðum. Ein ályktun hans var sú að á tunglinu væri berg-ryk eða aska. F.E. Wright (1927a,b, 1934) kannaði einnig tungsljósið með skautunar-ljósmaelum. Upp úr hugmynd Lyots var síðar hannað tæki (Harrington o.fl. 1956) til að mæla skautun flúrljómunar, sem gaf upplýsingar um vissa eiginleika stórra sameinda á borð við prótein.

Y. Öhman (1933) sem var að gera athuganir á skautun ljóss frá stjörnum um 1930, notaði silfurbergskubb til hjálpar við kvörðun birtustigs stjarnanna á ljósmyndum. Aðferð hans var þó ef til vill ekki ný: Leavitt (1914) beitti á svipaðan hátt tveim silfurbergspötum við mælingar sínar á birtustigi stjarna kringum norðurpól himins allt frá 1909. Öhman vann að ýmiskonar skautunar-rannsóknum a.m.k. fram undir 1950.



Mynd 39-3A. Tveir þeirra litrófs-ljósmaða sem voru á markaði eftir 1925. T.v.: Mælir Lemons (1914), framleiddur af Gaertner Scientific Corp. Athugandi horfir í kíkinn T og ber saman ljós úr C_1 og sterkara ljós úr C_2 sem hann sér hlið við hlið í glerprismanu P. Með Nicol-prismunum deyfir hann síðarnefnda ljósið. Myndin er úr jákvæðu nefndaráliti (Optical Society of America 1925). T.h.: Skautunar-hluti mælis Dowells (1931) frá Hilger Ltd., með fjórum föstum Nicol-prismum og einu snúanlegu, E. A er ljósgjafinn, og til dæmis má setja ílát með vökva til efnagreiningar inn í annan hvorn lárétta geislann. Síðan er E snúið, uns geislarnir sem berast til K eru jafnstærkir.

Við litrófsgreiningu er unnið með ljós á þröngu bili bylgjulengda í einu, og ljósið kemur inn í mælitækið gegnum mjóa rifu. Setjum nú svo að stór hlutur sendi frá sér ljós með mörgum bylgjulengdum, og við viljum skoða allan hlutinn í einu til að sjá hvernig útgeislun af tilteknum lit dreifist yfir hann. Ef hið eftirsóttu bylgjulengdarbil er mjög breitt, getur dugað að horfa gegnum litað gler, en sú aðferð dugur ekki ef bilið er þröngt. Þá koma til sögunnar svonefndar bylgjuvíxla-síur (interference filters) sem yfirleitt nota þunnar himnur efna til að hafna (endurkasta) ljósi af óæskilegum bylgjulengdum á sama hátt og t.d. olíubrúk gerir. Eina sérstaka tegund af þessum síum fann Lyot (1933) upp, og byggir hún á bylgjuvíxlum í skautuðu ljósi (sbr. Fabry og Perot 1900). Í hverja síu þurfti bæði silfurbergs- eða kvarsþynnur og mikinn fjölda af góðum skautunarprismum, sem ekki tókst að afla fyrr en Lyot (1944, 1945) fékk að gjöf „un beau rhomboèdre du spath d’Islande“ haustið 1939. Ófullkomnari gerð með Polaroid-þynnunum var í notkun frá 1938, og raunar hafði fyrrnefndur Öhman (1938) einnig prófað þess konar síur. Urðu síurnar afar gagnlegar við rannsóknir á útgeislun sólarinnar, og með þeim tók Lyot kvikmyndir af ýmsum breytilegum fyrirbrigðum í kórónunni. Evans (1949) segir síðan kvars hafa að mestu tekið við af kalkspati í þessum ljóssíum.

Í þriðja silfurbergs-tækinu sem B. Lyot fann upp til stjörnufræðirannsókna (eftir 1940), var snúanleg þynna af silfurbergi til að mæla örlítil horn t.d. milli tvístirna á sama hátt og Rochon- og Wollaston-prismu (kafli 12.1). Þessir Lyot-mikrometrar eru enn í notkun.

39.3 Ýmislegt um ljós og segulsvið, frá um 1925

H. Eyring o.fl. segja í kennslubók um skammta-efnafræði 1944: „...investigations of the Zeeman effect provide one of the most powerful tools for the determination of the characteristics of the states involved in atomic spectra“. G.E. Uhlenbeck og S. Goudsmit stungu upp á því 1925

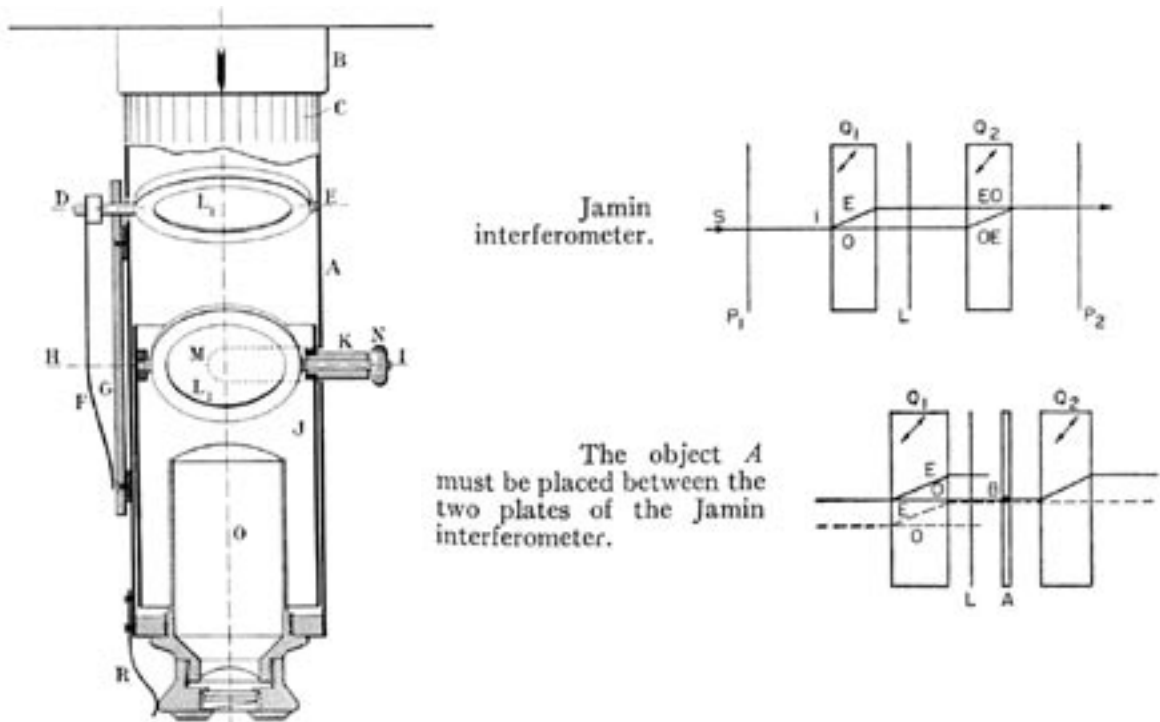


Mynd 39-4A. Silfurbergs-hringmið (Optical Ring Sight, frá Polaroid Corp.) úr síðari heimsstyrjöldinni. T.v.: Teikning af samsetningu þess. T.h.: Flugvél í skotmáli, auga skyttunnar þurfti ekki að vera yfir miðjunni því að hringirnir færðust með því. Úr Wood (1977). Breidd var 3-4 cm og þykkt um 0,5 cm skv. upplýsingum frá L. Hughes 2001.

og hefði verið erfitt að afla sumra af þeim upplýsingum á annan hátt. Sjá til dæmis Ingersoll og Vinney (1925) sem rannsökuðu seguleiginleika örþunnra laga af nikkel. Kerr-segulhrifin hafa verið hagnýtt á síðari hluta 20. aldar m.a. í svokölluðum „magneto-optical disks“ fyrir stór tölvuminni og myndageymslu.

Ein mikilvæg prófun á forspám skammtafræðinnar um líkindi á færslum (Übergangswahrscheinlichkeit) milli orkustiga frumeinda fólst í að finna hlutfallslegan styrk ljóssins í litrófslínunum frá viðkomandi efni, svo og í þeim undir-línunum sem hver litrófslína skiptist í í Zeeman- og Stark-hrifunum. Voru slíkar styrkmælingar oftast gerðar á ljósmyndum og höfðu ef til vill ljósmælar með Nicol-prismum (svo sem König-Martens mælirinn) þar eitthvert hlutverk, en öðrum tegundum tækja var þó beitt í þeim mörgu tilvikum sem ég hef skoðað. Hinsvegar fundu menn, að upplýsingar um færslulíkindin t.d. í heitum málmgufum mátti fá með mælingu á Faraday-hrifum gufanna í námunda við þessar litrófslínur (t.d. Minkowski 1921, *Mynd 39-3B*, Weiler 1929).

Skautun ljóss kom einnig við sögu í fræðilegri túlkun ljósgleypingar efna í segulsviði, bandlitrófa og fleiri fyrirbrigða sem reyndust tengd á ýmsan hátt. Þannig fundu Wood og Ellett (1923, 1924) óvænt áhrif segulsviðs á skautunarástand svonefndrar hermigeislunar frá kvikasilfursgufu við lágan þrýsting. Þessi geislun er eitt afbrigði flúrljómunar, en útgeislaða ljósið hefur þá sömu tíðni og hið innfallandi: það gerist þegar örvuð frumeind hefur aðeins eitt orkuþrep sem henni er heimilt að detta niður á. Þekktustu dæmin eru útfjólublá litrófslína (253,67 nm) kvikasilfurs og gulu natriumlínurnar tvær (589,3 nm). Fyrirbrigðið var kannað frekar (t.d. Rayleigh yngri 1922, Gaviola og Pringsheim 1924, Hanle 1924, 1926, *Mynd 39-3B*, Keussler 1927, Foote 1927, Schein 1928), og skýringar á því út frá lögmálum skammtafræðinnar voru ræddar af m.a. W. Hanle, V. Weisskopf, N. Bohr, W. Heisenberg, og G. Breit. A. Kastler (1931; sjá Viðauka 5) gerði sérstaka tilraun á skautun hermigeislunar natriums í segulsviði til að sýna fram á að ljóseindir hefðu ekki hverfiþunga. Í frekari rannsóknum sínum á Zeeman-hrifum og hermigeislun innleiddi hann ásamt samstarfsmönnum svonefnda „pompagné optique“- aðferð um 1950. Þar var málmgufa í segulsviði, sem var að gleypa ljós með hermitíðni, um leið látin



Mynd 39-4B. Tvö mjög næm ljósvíxla-tæki með silfurbergi. Ekki er hægt að skýra að gagni hér hvernig þau virka. T.v.: Mælitæki Lyots (1926) til að finna lítið hlutfall skautaðs ljóss í bland við óskautað, til dæmis frá plánetunum. Ljósið kemur inn ofan frá gegnum glerplötur L_1 og L_2 sem má halla, og í augnglerið O . Neðst í því eru tvær eins silfurbergspynnur og tveggja geisla prisma úr silfurbergi og gleri. T.h.: Skema af því hvernig Lebedeff (1930) notaði ljósvíxl í þynnum til þess að breyta litlum brotstuðuls- eða þykktarbreytileika í sýninu A (sem getur t.d. verið glær sneið af dýravef í smásjá) í birtubreytileika séð frá athuganda hægra megin. Q_1 , Q_2 eru tvær eins silfurbergspynnur, P_1 , P_2 eru Nicol-prismu og L er fjórðungsplata. Mynd úr Françon (1957).

gleypa rafsegulgeislun þannig að á hærra orkuþrepinu af þeim tveim sem segulsviðið skipti örvuðu ástandi hennar í, yrðu rafeindir um tíma „fjölmennari“ en á hinu. Budker o.fl. (2002) segja að allar þessar rannsóknir megi rekja til greinar Macaluso og Corbinos (1898) úr kafla 30.1. Þær hafa orðið grunnur mikilvægra rannsóknasviða innan eðlisfræðinnar, svo sem laser-tækni og atómklukka sem hafa m.a. lykilhlutverk í staðsetningarkerfum á borð við GPS.

39.4 Silfurbergs-hringmiðið og stórvinnsla í Bandaríkjunum og Mexíkó

Þegar Bandaríkjamenn drógust inn í síðari heimsstyrjöldina, jókst mjög framleiðsla þeirra á stórum og litlum byssumiðum (gun sights). Herstjórnendur voru óhressir með hefðbundin mið, sem þóttu fyrirferðarmikil og ekki þægileg í notkun. E.H. Land sem áður var getið, fann þá upp einfaldan miðunarbúnað sem byggðist á sama fyrirbrigði og áður var lýst varðandi bylgjuvíxl samleitins ljóss í eináa kristalþynnum (Mynd 7-3). Land setti Polaroid-þynnur sínar í stað prismanna sem notuð eru þegar svona þynnur eru skoðaðar í smásjá, og varð búnaðurinn þá mjög fyrirferðarlítill. Í miðinu koma fram sammiðja hringir, og nefndist það „optical ring sight“. Til að losna við svarta krossinn úr mynstrinu skaut Land inn fjórðungsplötum úr kvarsí báðumegin við silfurbergspynnuna sem er hjarta tækisins (Mynd 39-4A). Það var ekki ný hugmynd, sjá t.d.

N.N. (Nicol 1829 í heimildaskrá), Airy (1833a), Dove (1835, bls. 607; einnig skrif J. Müllers í Ann. Phys. 1833-35), Wilde (1853), Soleil (1855), Bertin (1859, 1884), Preston (1895) og Pellin (1899, Fasc. IV), en einkaleyfi var samt veitt á útfærslunni (Land 1947).

Nú vantaði mikið magn af silfurbergi. Helst þurfti það að vera í skástrendingum svipuðum og á Íslandi, a.m.k. um 3 cm á kant og tiltölulega laust við galla og tvíburamyndun, en þó ekki endilega af sama gæðaflokki og efnið í Nicol-prismu. H. Berman prófessor, sem starfaði með Polaroid Corporation, mun hafa sent skeyti til Íslands í mars 1942 með fyrirspurn um málið (L. Hughes, pers. uppl. 2003), og herinn grennsaðist aftur fyrir hér 1944, en ekkert virðist hafa komið út úr því. Talsvert silfurberg reyndist vera til í Taos-sýslu í Nýja Mexíkó, á stað sem fundist hafði 1931 en ekki verið nýttur (Johnson 1940, Kelley 1940, og frétt í Albuquerque Journal 2. feb. 1942). Töldu menn að sú náma stæði Helgustöðum ekki langt að baki í magni og stærð kristalla: Blazek (1976) segir tvo yfir 25 tonn hvorn hafa fundist þar. Í byrjun var reiknað með að þessi náma dygði lengi bæði fyrir framleiðslu hringmiðsins og þarfir sjóntækjaverkstæða í landinu, en samkvæmt fundargerðum fjárveitinganefnda Bandaríkjaþings sem ég hef séð virðist hún þó jafnvel hafa tæmst fyrir ársbyrjun 1944.

Gott efni fannst í tertieru gosbergi á nokkrum stöðum í norður-Mexíkó (Fries 1948), einkum nálægt Chihuahua. Náðust um 9 tonn þar samanlagt árin 1943 og 1944, en aðeins lítill hluti þess var fyrsta flokks. King (1946, 1947) lýsir ýmsu í framkvæmd þessa átaks við leit að silfurbergi, vinnslu þess, og sorteringu kristallanna. Silfurberg kom einnig m.a. frá Montana-fylki (sjá fyrr), um 4 tonn á árunum 1942-44 (Stoll og Armstrong 1958). Eitthvað fékkst að auki frá Suður- og Suðvestur-Afríku, Kólombíu og Kaliforníu.

Vinnslu silfurbergs bæði í Montana og Mexíkó var síðan hætt haustið 1944, þegar fyrirtæki Lands tókst að rækta saltþétur (sjá West 1945 og Waesche 1960) til nota í byssumið sitt í stað silfurbergsþynnunnar. Miðið var einkum ætlað á byssur sem beint var gegn flugvélum og skriðdrekum (Stoll og Armstrong 1958, bls. 431; McElheny 1998, bls. 132). Það mun helst hafa verið sett upp á birgðaskipum flotans og kaupskipum, en L. Hughes (pers. uppl. 2001) sem vinnur að ritun sögu þessa tækis, telur það hafa komið fullseint inn í stríðsreksturinn til að verða að verulegu gagni.

39.5 Silfurberg í ljósvíxla-tækni

Fremst í 18. kafla var sagt frá tveim tækjum (interferometers) J. Jamins til mælinga á mjög litlum fjarlægðum eða brotstuðuls-breytingum með hjálp ljósvíxla. Í öðru þeirra tækja, sem varð vinsælt og er enn, voru notaðar silfurhúðaðar glerplötur og óskautað ljós. Dæmi finnast þó um að bætt var inn í það Nicol-prisma og fasajafnara, svo sem af Clark (1906) við rannsóknir á ljóseiginleikum kolefnisþynna. Hin tegund mælanna (Jamin 1868) sem byggði gagnert á ljósvíxlum milli skautaðra geisla, féll að mestu í gleymsku (sjá þó Kerr 1888) uns hún var endurvakin af Skinner og Tuckerman (1911), Sagnac (1911) og fleirum. Þeir bentu á, að með tilteknum bylgjuvíxlum milli tveggja skautaðra geisla ásamt hálfskugga-búnaði Brace (1904a) mætti gera muninn á vegalengdinni sem þeir færu, sýnilegan sem misbjart ljós þótt hann væri innan við 0,01% af bylgjulengd. Það útheimti vönduð skautunarprismu og var erfitt í framkvæmd, en Lebedeff (1930) sýndi fram á hagstæða leið til að nota eiginleika af þessu tagi í smásjám, *Mynd 39-4B*.

Um og eftir 1950 varð hröð tækniþróun á þessu sviði; þá komu meðal annars á markað svonefndar ljósvíxlasjám (interference microscopes) með Nicol- eða Wollaston-prismum til

að skoða t.d. frumusýni þar sem ljósbrotstuðullinn breytist mjög lítið frá einum stað til annars (Smith 1955, Huxley 1957). Þær eru að sumu leyti hliðstæðar við aðra einfaldari og þekktari tegund smásjáa fyrir líffræðinga (phase contrast microscope), og létu í minni pokann fyrir henni á markaði eftir 1970 (samkvæmt Dunn 2005). Skoða mátti lifandi frumur með þessari tækni (t.d. Davies o.fl. 1954), og munu ýmsar merkar uppgötvanir varðandi byggingu og hreyfingar þeirra hafa verið gerðar með ljósvíxlasmásjámum. Hliðstæð tækni í skautuðu ljósi var einnig notuð við að fylgjast með smá-aflögun yfirborða, loftstreymi í vindgöngum, og öðrum fyrirbrigðum þar sem litlar breytingar verða á fasahorni ljósbylgju (Françon 1957, 1963).

Hér má einnig nefna, að ljósvíxlataekni var prófuð snemma við könnun á sléttleika klofningsflata á kristöllum af íslensku silfurbergi o.fl. efnum (Siegbahn 1933). Tengdist það mati á gæðum þeirra til nota í bylgjulengdagreiningu röntgengeisla.

39.6 Pockels-sellur

Eftirspurn eftir skautunarprismum úr silfurbergi til ljósfræðirannsókna hlýtur að hafa aukist með útbreiðslu laser-tækja eftir að þau voru fundin upp 1960 (sbr. Nester og Schroeder 1967, Coetsee 1976): í laser-geisla fer mikil orka gegnum lítið þversnið, og ef þynnur af Polaroid eða arftökum þess eru láttnar gleypa mikið af ljósi á litlum bletti skemmast þær fljótt við upphitunina (t.d. Zirkl 1961). Ég hef ekki skoðað þessi mál nema að litlu leyti, en hér verður minnst á eitt atriði sem tengist þróun hagnýtingar laser-tækninnar.

Í kafla 23 voru nefnd þau áhrif rafsviðs á ljósbrotstuðla sem fundust fyrst 1883 og kennd eru við F. Pockels (1890 og síðar). Þau má finna í þeim flokkum kristalla sem ekki hafa samhverfumiðju (alls 20 af 32), þ.e. sömu flokkum og þeim sem sýna þrýstirahrif. Að þessu leyti eru þau frábrugðin Kerr-rahrifum sem koma fyrir í vökvum og gasi. Annar munur er sá að áhrif rafsviðsins á viðkomandi brotstuðul efnisins eru í hlutfalli við sviðstyrkinn (þ.e. eru „línuleg“) í Pockels-hrifum, en annað veldi hans í Kerr-hrifum. Kristall með rafskautum á getur virkað eins og stýranlegur fasajafnari fyrir ljós á sama hátt og Kerr-sella, en til þess að hann geri sitt gagn þarf ljósgeislinn helst að vera af einni bylgjulengd og allur samsíða (sjá Goldstein 1986). Þau skilyrði uppfyllir einmitt laser-ljósið. Með Nicol-prismum sitthvoru megin við kristallinn er kominn búnaður sem nota má til að móta (modulate) styrk ljóss eða loka alveg fyrir það, og nefnist þá Pockels-sella. Hugmyndir um tæknilega útfærslu þessara hrifa t.d. í sjónvarpstækjum voru komnar á kreik um 1930, sjá breskt einkaleyfi no. 375856 og bandarískt no. 1,879,138 (bæði veitt 1932) varðandi notkun Rochelle-salts við stýringu ljósmagns. Síðar hafa menn einkum hagnýtt sér svonefnt langsum-afbrigði Pockels-hrifanna, þ.e. þar sem rafsviðið er látið stefna í sömu átt og ljósið fer. Koma þá helst til álitu kubiskir eða einása kristallar án optiskrar virkni, en það takmarkar valið við tvo samhverfu-flokka. Meðal hagstæðra kristalla var efnið $\text{NH}_3\text{H}_2\text{PO}_4$, á ensku kallað ammonium dihydrogen phosphate eða ADP; eftir síðari heimsstyrjöldina ætlaði Polaroid Corp. að byggja framleiðslu litasjónvarpa (Land 1950) á Pockels-hrifunum í því, en mjög frábrugðnar hugmyndir annarra uppfinningamanna unnu það kapphlaup. Fyrir 1960 var farið að rækta kristalla fleiri efna úr sama samhverfuflokki til nota í ljóstækni, svo sem LiNbO_3 og KH_2PO_4 (KDP). Pockels-sellur þurfa ekki eins sterkt rafsvið og Kerr-sellur, eru hraðvirkari (innan við 1 ns) og eflaust meðfærilegri. Þær hafa verið notaðar í margskonar búnaði, til dæmis í fjarskiptum gegnum ljósleiðara, í video-tækjum, og í laser-fjarlægðarmælum. Ólínuleg Pockels-hrif eru einnig orðin mikilvæg í ljóstækni.

39.7 Raman-hrif

Þegar lýst er gegnum glæran vökva með sterku ljósi af einni ákveðinni bylgjulengd og greint í litrófssjá það ljós sem dreifist til hliðanna, hefur dreifða ljósið þessa sömu bylgjulengd eins og við er að búast. C.V. Raman sem nefndur var í fyrri köflum, og samstarfsmenn hans gerðu hinsvegar alveg nýja uppgötvun í rannsóknum sínum á dreifðu ljósi á árinu 1928: ef ljósið úr litrófssjóni var látið falla á ljósmyndapappír tímunum saman, kom þar einnig fram mjög dauft línulitróf í kringum upphaflegu bylgjulengdina. Var þetta fyrirbrigði um hríð talið vera sama eðlis og Compton-hrif, en ekki er svo: hliðrunin í tíðni ljóssins endurspeglar vissar eiginsveiflur innan frumefnahópa í vökvanum. Þær hafa mun lægri tíðnir en sýnilegt ljós, líkt og þær eiginsveiflur sem vekja má upp í sameindum efnanna með innrauðri geislun (sbr. kafla 34.1). Er tekið sérstaklega fram í fyrstu greinum um Raman-hrifin (Raman 1928; Raman og Krishnan 1928) að sterk skautun hins tíðni-hliðraða ljóss hafi átt þátt í þeirri ályktun að um dreift (scattered) ljós væri að ræða en ekki flúrljómun sem er að mestu óskautuð í vökvum (sjá t.d. Sohncke 1897, bls. 81-84; Zsigmondy 1925, bls. 9). Um sama leyti fundust hrifin einnig í kristöllum, meðal annars kalkspati (Landsberg og Mandelstam 1928, Wood 1928, Cabannes 1929b) sem var sérstaklega vel til slíkra rannsókna fallið vegna gegnsæis síns. Wood kannaði þannig, auk kvars og ýmissa vökva, „a very clear natural rhomb measuring 4 x 5 x 2 inches“ af silfurbergi. Á sama hátt segja Schaefer o.fl. (1930a): „Bei dem grössten Kristall, einem klaren Rhomboeder isländischen Doppelspats von 40 mm Kantenlänge, genügte eine Belichtung von wenigen Stunden“. Þeir rannsökuðu mörg efni en urðu að gefa sum sýna sinna upp á bátinn vegna þess hve þau voru lítil eða ógegnæ. Fljótlega var farið að bera niðurstöður um tíðni og skautun Raman-geislunarinnar saman við fræðilegar útleiðslur á eiginsveiflum og við Reststrahlen-mælingar. Fyrir kalkspat og önnur kristölluð efni mátti þá hafa hliðsjón af byggingu þeirra samkvæmt röntgengeisla-mælingum. Varð það árangursríkt (t.d. Cabannes 1929a, Schaefer o.fl. 1930b, Kastler 1930, Hanle 1931, Menzies 1931) og hafa Raman-hrifin síðan reynst afar gagnleg í efnafræði, s.s. við könnun á efnatengjum „covalent“-bundinna sameinda. Sjá Viðauka 5.

40 Silfurbergsnám eftir 1940; lokaorð

40.1 Náman á Helgustöðum; erlendar námur; not fyrir silfurberg

Síðasta átakið í námurekstri við Helgustaði gæti hafa verið á vegum Rannsóknaráðs Ríkisins 1946-47. Sjá grein Páls Skúlasonar á bls. 18-20 í tímaritinu Skildi, 3. tbl. 2002. Segir Sigurður Steinþórsson (munnl. uppl. 2001) að ráðið hafi látið taka upp eitthvert magn af silfurbergi eystra og starfsmaður í Reykjavík unnið að frágangi kristalla. Þessi tilraun varð endaslepp, e.t.v. að hluta vegna Heklugossins. 27 kg af kristöllum voru flutt út 1947 skv. hagskýrslum. Í ræðu frá árinu 1963 um sögu ráðsins (sem ég á eintak af í fjölríti) segir Ásgeir Þorsteinsson verkfræðingur þá hafa reynst of smáa til nota í tækjum. Aftur var vinnsla reynd þar 1952 með aðild Rannsóknaráðs, en varð árangurslaus samkvæmt frétt í Morgunblaðinu 23. jan. 1953.

Náman var friðlýst sem náttúruvætti með auglýsingu Menntamálaráðuneytisins í Stjórnartíðindum B dags. 1. des. 1975, og er m.a. stranglega bannað að tína þar kristalla.

Fram yfir 1960 komu enn fram í vísindagreinum og bókum kvartanir um silfurbergs-skort, sjá Viðauka 1A. Síðan hafa væntanlega fundist námur á svæðum sem áður voru lítt aðgengileg, því að á Netinu hefur mátt finna auglýsingar um silfurbergskristalla til sölu í miklu magni frá m.a. Brasilíu, Namibíu, Kína, og Rússlandi (Síberíu). Einnig má fá fallega silfurbergs-strendinga og heila kristalla frá norðanverðu Mexíkó fyrir lítið hjá mörgum steindahöndlurum og náttúrugripasöfnum. Sem stendur framleiða mörg fyrirtæki skautunarprismu (þ.e. Nicol-prismu, oftast af Glan-gerð með lími eða loftbili milli fleyganna), tvígeisla-prismu (oftast af Rochon-eða Wollaston-gerð), snúnings-fasajafnara, og fleiri hluti úr gallalaus silfurbergi. Eflaust fara margir þessara íhluta enn í rannsóknataeki á borð við polarimetra, ellipsometra og smásjár, og eru prismun einnig mikið notuð í hverskonar öðrum ljósfræði- og efnisrannsóknnum.

40.2 Lokaorð um námureksturinn

Þrenns konar aðilar komu að útflutningi silfurbergskristalla hér á landi:

- þeir sem tíndu kristalla án sérstaks leyfis gegnum aldirnar
- einkaaðilar sem ráku námuna skipulega með heimild eigenda
- stjórnvöld.

Eðlilega er mest til skjalfest um þátt stjórnvalda landsins. Ljóst er að þau voru ekki alltaf nægilega kunnug aðstæðum eystra, en vildu yfirleitt vera varfærin í nýtingu námunnar og fengu því m.a. ráðgjöf jarðfræðinga. Þau voru heldur ekki nógu vel upplýst um málefni silfurbergsins, s.s. hvert það færi, til hvers það væri notað (*Mynd 37-1*), eða hvert verðgildi þess væri. Stjórnvöldin eru þar viss andstæða við framkvæmdamennina (einkum C.D. Tulinius) sem þekktu til staðháttá, kynntu sér markaðinn, fjárfestu í búnaði, og drifu í að gera þessa glæru steina að verðmætri vöru. Ýmsir urðu til að gagnrýna Tulinius-feðga (sjá ummæli í Viðauka 1 og köflum hér á undan, m.a. úr umræðum á Alþingi), en svör eru til við mörgu af þeirri gagnrýni í gögnum Þjóðskjalasafns og annarsstaðar. Sjálfsagt hefði flestum aðilum komið betur, ef það magn sem tekið var úr námunni 1863-72 hefði dreifst á lengra árabíl og vinnslunni síðan verið haldið áfram nokkuð jafnt fram yfir 1920. Um þetta er þó erfitt að dæma eftir á, af okkur nútímamönnum sem erum lítt kunnugir áhrifum t.d. samgöngu- og samskiptaerfiðleika, fátæktar þjóðarinnar, og óblíðrar veðráttu á allar framkvæmdir á ofanverðri 19. öld. Hins vegar fer ekki á milli mála, að framtak C.D. Tulinius og annarra einstaklinga við námareksturinn varð raunvísindum ómetanleg lyftistöng.

40.3 Um ljósfræði og eðlisfræði í skólum

Langt fram eftir 20. öld var ljósfræði almennt stærri hluti eðlisfræðinámsefnis í háskólum, og þar með af þekkingu eðlisfræðinga, en nú er. Á 1.-2. ári voru væntanlega lesnar ljósfræðibækur eins og Drude (1900a), Wood (1905), Schuster og Nicholson (1923) og Houstoun (1927) með umfjöllun um tvöfalt ljósbrot og skautun ljóss á 50-70 bls. Talsvert meira efni um þau mál var raunar í enn eldri bókum Verdets (1869) og Prestons (1895). Ekki var heldur óalgengt að kennslubækur fyrir háskóla, framhaldsskóla og sjálfsnám innihéldu talsverðan fróðleik um þessi málefni. Til dæmis fjalla 54 bls. af texta háskóla-eðlisfræðibókar Christies (1864) um skautað ljós og tvöfalt ljósbrot. Sérstakur kafli um skautað ljós (sjá *Mynd 3-2*) er í fyrri bindi bókar A. Paulsens (1893) um eðlisfræði „i almenfattelígr fremstilling“. 13 síður af um 1100 bls. texta í *Traité Élémentaire de Physique* (Ganot-Maneuverier, 24. útg. 1908) eru helgaðar skautuðu ljósi og 38 bls. af 892 hjá Dahlander (1902). Ýmislegt af því sem auglýst er í verðlistum á borð við B. Halle (um 1895, *Mynd 32-2*) hefur verið ætlað til verklegrar kennslu um ljósskautun, sjá einnig Grimsehl (1905) og Rosenberg (1924). Í ljósfræðibók G.R. Noakes (aukin útg. 1940), sem ætluð var efsta bekk menntaskóla í Bretlandi, fjalla 18 af 355 bls. um skautað ljós.

Á síðustu hálfri öld hafa nýrri uppgötvanir þrengt að fyrri þekkingu í ljósfræði í námsefninu, auk þess sem aðrar námsgreinar hafa þrengt að eðlisfræðinni í grunn- og framhaldsskóla. Í nýjum útgáfum bandarískra kennslubóka eins og þeim sem nemendur í eðlisvísindum og verkfræði hafa lesið á 1. ári í Háskóla Íslands undanfarið, virðast að meðaltali um 5 bls. af hverjum 1000 fjalla gagnert um skautun ljóss; í sumum tilfellum er tekið fram að þar sé um ítarefni að ræða fremur en til að prófa úr. Þetta er kannski óhjákvæmileg þróun, en nemendur fara þó mikils á mis ef þeir til dæmis hafa ekki tækifæri til þess að gera sjálfir tilraunir á þessu sviði ljósfræða. Atriði tengt þessu varðar efnistöð nýrri kennslubóka um vísindasvið þar sem silfurberg og skautað ljós komu sannanlega mjög við sögu á fyrri áratugum. Höfundarnir eiga þar til að sleppa alveg umfjöllun um þann þátt, e.t.v. vegna þess að þeir geti ekki treyst því að lesendur kunni neitt um ljósskautun. Sem dæmi má taka víðlesna bók A. Beisers: *Perspectives of Modern Physics* sem út kom 1969.

40.4 Nokkrar missagnir og ónákvæmni varðandi silfurbergið

Ýmislegt hefur verið staðhæft varðandi námuna á Helgustöðum og silfurberg almennt sem ekki virðist fyllilega rétt. Sumt af þessu er að ganga aftur m.a. í nýlegum íslenskum blaðagreinum og kynningarritum fyrir innlenda og erlenda ferðamenn. Verða hér nefnd nokkur dæmi og gerðar athugasemdir við þau.

-„Úr silfurberginu var unnið silfur“: silfurberg hefur efnafræðilega séð ekkert með silfur að gera, enda hreint kalk eins og fram hefur komið.

-„Silfurbergssýni á erlendum steinasöfnum eru flest frá Íslandi“: kalkspatkrystallar frá erlendum fundarstöðum hafa mun fjölbreyttari form en þeir íslensku. Auk þess hafa kristallar jafn-reglulegir kristöllunum frá Helgustöðum og jafngóðir til ljósfræðinota eða til sýningar á söfnum fundist í stórum stíl víða um heim eftir 1920.

-„Silfurbergið var notað í sjónauka“: svo var almennt ekki, nema þá sem aukabúnaður í suma stjörnuvíkinga til birtumælinga (um 1870-1900, sjá tilvitnanir í Zöllner, Pickering og Lyot í ritskrá), litrófsrannsóknna (einkum 1870-90, sjá tilvitnun í Huggins), mælinga á segulsviðum í stjörnum (eftir 1905, sjá tilvitnun í Hale), og í ljóssjár (eftir 1940, sjá kafla 39.2). Ein hugsanleg notkun væri við mælingu á litlum sjónarhornum (t.d. milli stjarnanna í tvístirnum) með tveggja geisla prismum. Ég hef aðeins óljósar fréttir af einum stjörnufræðingi sem prófaði slíkt með silfurbergsfleygum; var það O. Lohse við athuganir á reikistjörnunum fyrir 1890. Í greinum sem ég hef vitnað til eftir Amici (1823) og Arago (1847), og öðrum s.s. eftir J. Dollond í Phil. Trans. 1821, W. Pearson í Mem. Astron. Soc. 1822, A. Secchi í C.R. 1855, V. Wellman í Astron. Nachr. 1889, og E.C. Pickering í Harvard-annálunum 33(7) útg. 1900, eru bara nefndir kvarsfleygar í þessu sambandi, en aðrar aðferðir til hornamælinga voru miklu algengari. Í staðhæfingunni að ofan er e.t.v. verið að rugla silfurbergsprismum saman við glerprismu þau sem notuð eru í alþekktu prismakíka, eða að átt er við gamla merkingu orðsins sjónauki = smásjá.

-„Silfurberg var notað í linsur í smásjám“: það var eitthvað notað í linsur í sérhæfðum tilgangi, mest fyrir útfjólublátt ljós en ekki í smásjár. Sjá kafla 29.8 og tilvitnanir í Fedorow og Lowry.

-„Mikil eftirspurn var eftir silfurbergi til nota í fjarlægðarmæla og fleiri hernaðartæki“: sjá t.d. *Mynd 37-1*. Álíka staðhæfingar hef ég séð í erlendum ritum, jafnvel (í frétt 1939 um SV-Afríku sem nefnd er í kafla 37.3) að það hafi verið haft í sjónpípur kaubáta. Í verðlistum Duboscq (1885) og Pellins (1889) er sýndur einfaldur kíkir með Rochon-prisma úr kvasi til að áætla fjarlægð hluta af þekktri stærð, og flóknari búnaður með slíku prisma var prófaður af Giraud-Teulon (1875). Wulff (1897) ræðir möguleika á mælingu lítilla horna með fleygum tvíbrjótandi efna, en tiltekur engin hagnýt dæmi um það. Fyrirtæki C. Zeiss fékk þýskt einkaleyfi (Nr. 188992) á árinu 1906 og breskt 1910 fyrir tveim mismunandi fjarlægðarmælum með Rochon-prismum, en ekki kemur fram úr hverju þau voru. Ég hef engar frekari traustar heimildir fundið um notkun á silfurbergi í þessum tilgangi fyrir 1925 (t.d. í fyrri heimsstyrjöldinni) þrátt fyrir talsverða leit í tímaritum. Hins vegar er ljóst af kafla 27.3, að silfurbergsprismu voru lengi ómissandi við prófun á gæðum þess glers sem fór í mikilvæg ljóstæki, hvort sem var til hernaðarnota eða annars.

-,Gerviefni hafa alveg leyst silfurberg af hólmi í ljóstækjum“: þau gerviefni sem þarna er um að ræða (Polaroid-þynnur og arftaka þeirra, sjá kafla 35.2) hafa bæði kosti og galla miðað við silfurberg á hinum ýmsu notkunarsviðum. Í margskonar rannsóknabúnaði m.a. með laser-tækni, eru silfurbergsprismu enn mikið notuð. Má finna á Netinu auglýsingar og verðlista um þau frá fjölda framleiðenda.

-,Silfurbergið í Helgustaðanámunni var eyðilagt með sprengingum“: samtíma-heimildir sýna að sprengingar í námunni til að losa um blágrýti voru hafnar 1870 eða fyrr, sjá einnig Mynd 32-1. Kvíksögur um að tilteknir aðilar væru að valda skemmdum með slíkum aðferðum voru allavega á kreiki 1910-11 (Þjóðólfur 7.10. 1911, bls. 146) og hafa verið það síðan. Ágætir kristallar voru hinsvegar teknir úr námunni uns vinnslu var hætt 1925. King (1947) segir að slæm áhrif dýnamitsprengingar á silfurbergskristalla í bergi nái um 5 metra út frá sprengistað. Annarskonar frásögn varðandi skemmdir á silfurberginu á Helgustöðum hef ég séð í bókarkveri eftir H.N. Holmes: Strategic Materials and National Strength, útg. í New York 1942. Þar er haft fyrir satt að á árum fyrri heimsstyrjaldarinnar hafi náman verið fyllt af vatni í þeim tilgangi að draga úr veðrun kristallanna, en sú aðgerð hafi farið enn verr með þá.

-,Frá Helgustöðum kom stærsti silfurbergskristall sem fundist hefur“: þá sögu má að líkindum rekja til kversins „Þáttur af Brynjólfi Jónssyni“ eftir Ásmund Helgason frá Bjargi, útg. 1946. Þar er sagt að Brynjólfur hafi flutt kristall, sem vóg um 600 pund og endaði á British Museum, í silfurbergs- og rostafarmi til Leith 1870. Á heimasíðu safnsins er hann sagður vera 60 cm að stærð og hafa komið þangað 1876. Þetta getur hafa verið stærsti kristallinn sem náðist að losa í heilu lagi á Helgustöðum. Heimildir eru hinsvegar um miklu stærri kristalla bæði þar (Des Cloizeaux 1846-47) og erlendis (sjá t.d. í kafla 39.4). Upp úr 1990 fannst einn í Kína sem vóg 17 tonn (Zhaochang 1994).

Viðaukar

Viðauki 1A: Staðhæfingar frá ýmsum löndum um námuna og um silfurbergs-skort. (Ath.: Ekki er víst að allir sem þarna er vitnað til, hafi haft nýjar eða nákvæmar upplýsingar)

-1857 Foucault, Fr... le prisme de Nicol devient dispendieux et difficile à se procurer en raison de la rareté des beaux échantillons de spath.

-1874 Ladd, U.K.: In ...1869 I constructed two Nicol's prisms of about 2.5" aperture ...[en nú hefur eftirspurn eftir prismum af þeirri stærð aukist svo mjög, að] very great difficulty is experienced in procuring pieces of spar of sufficient purity to give such a field. Hann er því að búa svona prismu til úr smærri samlímdum stykkjum.

-1877 Laurent, Fr. kvartar á sama hátt yfir að þurfa að líma saman mola af silfurbergi til að fá nógu stór Nicol-prismu í nýja sýningarvél.

- 1878 v. Zahn, D. neðanmáls: Wie schwer es ist Nicols von der erforderlichen Güte zu erlangen, weiss jeder, der sich mit der Zusammenstellung eines Polarisationsphotometers abgeben hat.

-1878-79 Des Cloizeaux, Fr. fær dobbeltspat-sýni frá Mineralogisk Museum (skv. Árbók Hafnarháskóla).

-1882 eða síðar, bók Merrills, U.S. (1910, 2. útg.) ... The chief commercial source of the mineral has for many years been Iceland... From [1872] until 1882 the mine remained idle, when operations were once more renewed, though not on an extensive scale, owing, presumably in part, to the fact that Tullinius, the last year he rented the mine, had taken out a sufficient quantity to satisfy all the needs of the market. Merrill nefnir ekki aðra silfurbergs-staði en Ísland, né hve lengi lagerinn entist.

-1882 Bréon, Fr. ...Eskefjord, localité qui seule a fourni au monde civilisé cette précieuse substance pour les instruments d'optique.

-1884b Bertrand, Fr. ... un morceau pur et assez gros de spath d'Islande, substance chère et qui devient de plus en plus rare.

-1884 Feussner, D.... während die grossen, homogenen Kalkspathstücke, welche.... die Prismen sehr theuer machten...; svipað kemur fram hjá P. Sleeman í endursögn á grein Feussners, hann segir vera orðið nær ómögulegt að fá Nicol-prismu af breidd 3" eða meir.

-1885 Madan, U.K....Iceland spar, a material which is becoming deplorably scarce and expensive (I question if there is in England or elsewhere a piece of spar fit to make a Nicol's prism of 5 cm. aperture).

- 1886 Stokes, U.K. ... Bréf til ráðherra Íslands (hér fyrir neðan), ómögulegt hefur verið að fá Iceland spar í nokkur ár.

-1887 Labonne, Fr. ... la mine du spath d'Islande, substance dont la rareté préoccupé à juste titre les laboratoires de physique et de minéralogie... Le gîte est actuellement concédé à un

négociant islandais, M. Carl Tulinius, qui se contente de vendre au jour le jour le spath abattu, sans poursuivre aucun travail d'exploitation régulière...

-1887 Reichskanzleramt, D.... gerir í des. fyrirspurnir til Kaupmannahafnar vegna hallæris. Í umfjöllun í Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch. (1888) er sagt að kristallar komi „nur vereinzelt“ og „als mineralogische Seltenheiten“ fyrir annarsstaðar en á Íslandi.

-1888 Deslandres, Fr. þurfti tvö silfurbergsprismu í litrófssjá fyrir útfjólublátt ljós, og tókst að fá þau, þótt ...Le second prisme a été difficile à obtenir, à cause de la rareté actuelle des beaux morceaux de spath.

-1889 Chauvin, Fr. Malheureusement, les échantillons de cristaux *épais et transparents*, nécessaires pour ces expériences, sont très rares...

-1889 Haensch, D, í ræðu: Der Doppelspath...ist in den letzten Jahren so hoch im Preise gestiegen, dass es gar nicht mehr lange dauern wird, bis wir den zehnfachen...Preis bezahlen müssen....die Hauptfundorte des Doppelspaths liegen bekanntlich in Island...Da inzwischen die Vorräthe in Doppelspath völlig erschöpft sind, so wird es in kurzer zeit nicht mehr möglich sein, manche wissenschaftlichen Apparate und solche für industrielle Zwecke herstellen zu können.

-1890 Hoskyns-Abrahall, U.K., sem skoðar námuna, hefur í grein sinni 1892 eftir H.G. Madan að erfiðleikar séu á „obtaining large clear pieces“, og í grein Madans (1890) er talað um „... these spar-famine days“. Hoskyns-Abrahall segir aðeins einn mann hafa unnið í námunni 1885, sem er varla rétt.

-1890 Grosse, D ...Leider ist der Preis des Kalkspathes ein sehr hoher und die Verluste bei der Anfertigung der Prismen so gross, das nur etwa 5% des Rohmaterials nutzbar sind, da von fünf gleich grossen Stücken nur etwa ein Stück brauchbar ist und von diesem bei Bearbeiten... wieder drei Viertel verloren geht.

-1890-91 Tait (sjá Sang), U.K....in view of the scarcity of this precious substance, og S.P. Thompson ræðir einnig um „the great dearth of Iceland spar“ á þingi British Association sumarið 1891 (skv. frétt í The Times 27. ág.).

-1893 Lacroix, Fr. ...Les physiciens d'alors [þ.e. um 1845], et Biot en particulier, se préoccupaient déjà de la rareté du spath d'Islande, rareté qui n'a que s'accroître depuis.

-1894 Tschermak, A., um Helgustaði í 4. útg. bókar (en gæti verið beint úr eldri útgáfu) ...Dies ist das einzige bisher bekannte Vorkommen von grossen, klaren Individuen und liefert demnach alles Material für optische Zwecke. Endurtekið í Tschermak-Becke 1915.

-1895 Wulff, D. í grein um tilraunir sínar að framleiða natriumnítrat-kristalla fyrir Feussnerprismu.... Der Substanz, im Fall der Kalkspatmangel anhält, wird viel gezüchtet werden müssen.... Bréf frá honum með fyrirspurn um námuna er í Þjóðskjalasafni.

-Um 1895, B. Halle verðlisti, D...Rohe Krystalle, vornehmlich Isl. Doppelspath und Bergkrystall, zu optischen Zwecken brauchbar, werden stets gekauft oder in Tausch angenommen. Svipað segir í verðlista Aug. Stendicke í New York frá 1890-1900: Large pieces of Iceland spar, pure and free from flaws and cracks, will be taken in trade. Á árinu 1895 birtist einnig auglýsing í Ísafold um að Salomon nokkur í Kaupmannahöfn kaupi silfurberg háu verði.

-1896 Macnair, U.S. (smágrein í Nature) ... the present scarcity of Iceland spar..., og H.H. Turner, U.K. hætti á því ári við að afla sér tveggja geisla prisma úr silfurbergi fyrir ferð til

Japans að rannsaka sólmyrkva því að: ...this would mean a great expense, at the present price of Iceland spar (Monthly Not. Royal Astron. Soc. 57, bls. 110).

-1897c, 1899 Leiss, D...die Schwierigkeit der Beschaffung optisch brauchbaren Kalkspathes... hat sich in den letzten Jahren immer mehr und mehr gesteigert.... Das zur Herstellung grosser und reiner Prismen erforderliche Material ist jetzt entweder schon gar nicht oder nur mit sehr bedeutendem Kostenaufwand zu erhalten,og ...Der sich mehr und mehr geltend machende Mangel an optisch brauchbarem Kalkspat...[knýr á um að nota glerplötu-skautara]...Nur für die Herstellung kleinerer analysierender Nicol'scher Prismen ist im allgemeinen noch genügend Material vorhanden.

-1898 v. Lommel, D. um gler/kalkspat Nicol-prismu, búin til ...von der Absicht geleitet, die Hälfte des immer kostbarer werdenden Kalkspathmaterials zu ersparen.

-1901 Hugleiðingar með útdrætti greinar Sokolows frá 1898 í N. Jahrb. Mineral., D....Bei dem Seltenwerden absolut wasserklaren und fehlerfreien Doppelspathes in Island verdient die Krymsche Lagerstätte eine eingehende Untersuchung....

-1903 Bók Brauns, D. ... es ist noch nicht gelungen, den immer seltener und teurer werdenden klaren isländischen Doppelspat zu ersetzen.... Zum grossen Bedauern der Optiker entspricht die Produktion von klarem Doppelspat lange nicht dem Bedarf und der Preis geht stetig in der Höhe...

-1905 Thompson, U.K., um að spara þurfi silfurberg, í yfirlitsgrein um Nicol-prismu: ...This last consideration has been forced upon designers by the increasing scarceness of the material since the closing of the mines in Iceland.

- 1905 H.H. Turner, U.K. reyndi mikið að fá nýtt silfurbergsprisma í stað annars gallaðs til nota í sólmyrkva-leiðangri til Afríku (Proc. Royal Soc. A77) en ekki tókst að afla þess.

- 1906 Firma Carl Zeiss, D. skrifar Hannesi Hafstein ráðherra og vill kaupa silfurberg beint af eiganda námunnar, þar eð ...die für gewöhnlich im Handel vorkommenden Krystalle für optische Zwecke meistens nicht brauchbar sind. (Þjóðskjalasafn)

- 1906-07 Cheshire, U.K.: Iceland spar has never been obtained, I believe, of optical quality and of large size, except from a single mine in Iceland, and even this supply has now been exhausted for some years.

- 1907 Ásgeir Torfason efnafræðingur auglýsir í Reykjavíkurbloðunum eftir tæru og sprungulausu silfurbergi til kaups.

- 1909 Lummer, D....Nicols grosser Apertur sind unerschwinglich.

-1910 G. Halle, D...Bei den stetig zunehmenden Mangel an leidlich reinem Kalkspat, besonders grösserer Stücke...eine ungewöhnliche Preissteigerung [ist] eingetreten. Það ár voru G. Angenheister og A. Ansel að gera fyrirspurnir um silfurbergsnámur hérlendis fyrir þýska sjóntækjaframleiðendur, þegar þeir komu til að gera mælingar vegna halastjörnu.

- 1910 Badermann, D., lýsir mikilli gremju þýskra ljóstækjaverkstæða út í hið danska (svo) firma sem hafi rekið silfurbergsnámurnar tvær (svo) á Íslandi til 1908. Die betreffende Gesellschaft...trieb gewissermassen Raubbau...Es wurde aber...nicht die geringste Rücksicht auf die Auswahl und Güte des gewonnenen Produktes genommen...So stellte sich nach und nach im Bezuge von Doppelspath ein immer grösserer Notstand heraus...

-1910-11 Encycl. Brit., U.K.in recent years much of the material taken out has not been of sufficient transparency for optical purposes, and this, together with the very limited supply, has caused a considerable rise in price. Only very occasionally has calcite from any locality other than Iceland been used for the construction of a Nicol's prism.

- 1911 Busch og Jensen, D. um Nicol-prisma af tegund Foucaults: ...hierdurch kann, was natürlich bei der Seltenheit im Vorkommen des isländischen Spats sehr in Gewicht fällt, das Prisma sehr verkürzt werden.

-1911 Schulz, D... ist bisher vorwiegend Kalkspat zu Polarisatoren benutzt worden; jedoch ist mit zunehmender Verwendung die Erlangung brauchbaren Materials so schwierig und damit der Preis ein so hoher geworden, dass Prismen von grösserer Öffnung fast unerschwinglich geworden sind.

-1912 Reynt að kaupa sýni af Mineralogisk Museum í Kbh. skv. Garboe (1959,1961), og aðilar í Kaupmannahöfn auglýsa í Ísafold eftir að kaupa a.m.k. 80 kíló af silfurbergi.

-1912 Coker og Thompson, UK...(um að gott væri að eiga Nicol-prismu allt að 4“ stór, til ljósfjöðrunar-athugana)... at the present time, the number of large prisms in existence is very limited, and there is a complete dearth of spar of a suitable kind, owing to the stoppage of the supply from Iceland, and the lack of any other supply of sufficiently good optical quality.

-1913 Bók eftir Dammer og Tietze, D.... Da die Feinmechanik fast ausschliesslich auf den isl. Kalkspat angewiesen ist und die Beschaffung dieses in ausreichender Menge und genügender Qualität oft mit Schwierigkeiten verknüpft ist.... síðan er sagt að vinnslan á Íslandi hafi á stundum verið „wahrer Raubbau“...bis in der achtziger Jahre konnte der Betrieb nur in sehr geringem Umfange geführt werden, da ein Unternehmer Anfang der siebziger Jahre so grosse Mengen auf den Markt geworfen hatte, dass der Bedarf lange Zeit hindurch zum grössten Teile aus diesen gedeckt werden konnte. Þá kemur mögl um hve vinnslan á Helgustöðum sé enn óregluleg og taki lítið tillit til þarfa notendanna. Annarsstaðar séu stórir og glærir kristallar „stets nur als Seltenheit gefunden worden“. Þeir nefna hinsvegar, að sendingar af nothæfu efni berist tilviljanakennt frá Krímskaga, og að kristallar m.a. frá Auerbach í Þýskalandi séu einnig brúklegir til minna krefjandi hlutverka.

-1913 Lowry, U.K.....But the increasing demand for the spar has not been accompanied by any corresponding increase in the supply, and large clear pieces of the mineral are becoming increasingly difficult to procure. It may indeed be doubted whether large polarising prisms such as those which have been handed down as heirlooms at the Royal Institution [þ.e. stofnunin sem m.a. Faraday og Tyndall störfuðu við] could now be purchased at any price, in view of the „spar-famine“ which has prevailed for some years.

- 1915 Bók Beckenkamps, D.... Nun ist das zu grösseren Nicols brauchbare Material auf nur eine Fundstelle, oder sogar einen einzigen Kristallblock auf Island beschränkt, und zur Herstellung grosser Nicols werden schon lange die seit älterer Zeit in den Sammlungen befindlichen grossen Spaltungsstücke von Island verwendet; der Preis grosser Nicols ist daher sehr hoch, während man für kleine Nicols auch das Material anderer Fundorte verwenden kann.

-1918 Parsons, U.S. ...Since the 17th century science requirements for optically perfect calcite have been supplied almost wholly from [Helgustaðir]...In recent years, however, the difficulty in securing first class spar from the Iceland deposit has steadily increased, much of the material being taken out being useless for optical purposes.

- 1919 Wright, U.S. ...Wollaston prisms were not obtainable during the war...(P.G. Nutting segir einnig í J. Opt. Soc. Am. 1, bls. 83, 1917, að kalkspat til að búa til Wollaston- og Nicol-prismu sé ófáanlegt). Sjá kafla 33.2 varðandi ýmsar sparnaðar-ráðstafanir um þetta leyti.
- 1919 Schulz og Gleichen, D...Bei dem hohen Preise und die Schwierigkeit der Beschaffung geeigneten Kalkspates....
- 1920 Rayleigh (yngri) lávarður, U.K. segist eiga annan helming Wollaston-prisma úr silfurbergi en hafi ekki getað fengið efni í hinn til tilrauna sinna, og notað kvars.
- 1921 Halle, D., lýsir aðferðum sínum ... zur Ersparnis des immer kostbarer werdenden Rohmaterials...við smíði Nicol-prisma.
- 1922 Atvinnumálaráðherra Íslands, í umræðum á Alþingi um silfurberg.... Eftirspurnin er gífurlega mikil frá mörgum löndum, meðal annars hafa komið fyrirspurnir frá Japan til stjórnarráðsins, og alstaðar er kvartað um vöntun á því.
- 1922 Tutton, U.K.: The crystals [þ.e. á Helgustöðum] were often two feet or more in size... Large crystals are now becoming rare and exceedingly valuable on account of the use of the spar for polarising purposes in the Nicol prism...og síðar í sömu bók: Such large prisms can now no longer be made, the original magnificent deposit...having become exhausted.
- 1923 Glazebrook, U.K., ræðir um ...the ideal mean between a prism of greatest utility and one involving small waste of material, an almost equally important consideration owing to the small supply of large flawless crystals of Iceland spar.
- 1924 Glaser, D. (um val á ódýrustu tegund Nicol-prisma í smásjá)...ein Umstand, der bei der heutigen Knappheit an gutem Kalkspat stark ins Gewicht fällt.
- 1924 Stöber, D. ... Da die isl. Kalkspatgruben, die einzigen, welche für den zu optischen Zwecken brauchbaren Kalkspat in Frage kommen, schon seit längerer Zeit so gut wie erschöpft sind, so macht es sich in den optischen Werkstätten der Mangel an Kalkspat... immer mehr fühlbar.
- 1925 Bouasse, Fr.: D'où l'importance historique et technique de ce cristal dont les gros échantillons se vendent au poids de l'or.
- 1927 Weigert, D....(um hinar ýmsu tegundir Nicol-prisma) Auch der Preis, der wegen des spärlichen Vorkommens guter Kalkspatkristalle meistens ziemlich hoch ist, wird für die Auswahl entscheiden.
- 1928, Schulz, D í bók Wien-Harms ... ein in jeder Beziehung brauchbarer Ersatz für das bis vor kurzem fast nur in Island in guter optischer Beschaffenheit geförderte Material bislang noch nicht gefunden ist.
- 1929 Enn reynt að kaupa sýni af Mineralogisk Museum í Kbh. skv. bók Garboes.
- 1931 Coker og Filon, U.K....Of late years the supply of Iceland spar has not been kept up, and of consequence new Nicol prisms are almost impossible to obtain...
- 1931 Spencer og Jones, U.S.: Natural crystals, however, having a cross-section...greater than 2 by 2 inches are so rare as to be practically unobtainable.

-1933 Lyot, Fr. segir í grein 1941 frá merkri hugmynd sinni um ljóssíu sem í þurfti 10 18-mm skautunarprismu af Glazebrook-gerð, en „...faute du spath nécessaire pour les tailler, sa construction n'a pas été achevée.“ Sían var svo smíðuð 1938 með Polaroid-þynnum.

-1933 Smith, U.K. (hjá Hilger Ltd.) It is becoming increasingly difficult, for example, to obtain crystals of calcite which will enable first quality Nicol's prisms to be made with a maximum aperture of 1 in. diameter. Í bandarísku einkaleyfi Smiths segir: ...pieces from Iceland spar are no longer obtainable, at no matter what price, in sizes large enough to cut prisms of more than 50 mm. effective aperture.

-1935 Hardy, U.S. Rökstyður notkun Rochon-prisma úr kalkspati og gleri í nýjan litrófs-ljósmaeli sinn í stað Nicol-prisma, meðal annars með því að spara þurfi kalkspat.

-1936 Pollard, ?U.K.... Usually, Nicol's prisms are much smaller than this [4“ aperture], and even moderately sized optically perfect crystals of the spar have already become scarce.

-1936 South African Geological Survey: Iceland spar has, in the past, been obtained almost exclusively from Iceland but owing to the falling off of the production of good optical grade material from that country and the increasing demand for the mineral, attention has been directed to other possible sources of supply.

-1938 Griggs, U.S. segir í grein í American Mineralogist um háþrýsttilraunir á gallalaus silfurbergi, að steindasafn Harvard-háskóla hafi útvegað honum ...specimens of Iceland spar, which are difficult to obtain.

-1940 Kremers, U.S.. Natural calcite of optical quality is scarce, and the increasing demand for polarizing optics has stimulated the development of producing large single crystals of sodium nitrate.... og....The acute shortage of calcite in the larger sizes has for several years stimulated the search for a proper substitute.

-1946 Cotton og Manigault, Fr.: Le prix d'un microscope polarisant devient actuellement prohibitif: cela tient, en particulier, à ce qu'on emploie, pour le polariseur et l'analyseur, des appareils en spath....

-1948 Archard og Taylor, U.S. ... more recently [þ.e. eftir 1936], owing to the shortage of calcite,...

-1949 Evans, U.S., um Lyot-ljóssíur ...Unfortunately calcite is so difficult to obtain [in large sizes] that its general use in [birefringent] filters is probably impossible.

-1950 Schumann og Piller, D... Das Versiegen der natürlichen Vorkommen von optischem Kalkspat bildet seit langem eine beständige Sorge aller beteiligten Fachkreise...., og ...Kalkspat-polarisatoren, deren Beschaffung ständig schwieriger wird...

-1953 Bók Rinne-Berek, 12. útg. D... Da für optische Zwecke verwendbarer Kalkspat in den letzten Jahren immer seltener geworden ist...

-1957 Bernhard Halle Nachf., D., auglýsa eftir fyrsta flokks silfurbergi í Morgunblaðinu, og svissneskt fyrirtæki auglýsir þar 1959.

-1961 Zirkl, A, úr erindi fluttu 1959...Hinzu kommt, dass die Beschaffung von Kalkspat immer schwieriger und kostspieliger wird, weil das Vorkommen in Island praktisch erschöpft ist.

-1967 Nester og Schroeder, U.S.: Naturally occurring calcite of great purity has gradually become more difficult to obtain as great use has been made of this material in relatively recent years.

-1968 Ammann og Massey, U.S....large natural [calcite] crystals of good optical quality are becoming increasingly scarce.

Viðauki 1B:

Nokkrar auglýsingar og önnur gögn um silfurbergs-framboð

-1857 Auglýsing frá Optikus Steeg, D. í Ann. Phys. um Nicol'sche Prismen in allen Grössen, doppelbrechende Prismen von Doppelspath, Doppelspath-Platten, Polariskope o.fl.; svipuð auglýsing frá J.V. Albert kom 1859.

-1857 Bók Lloyds, U.K. ...Iceland spar...is found in considerable masses, and in a state of great purity and transparency...

-1858 White, U.S. notar silfurbergsprisma frá Rossie, N.Y. við smásjárathuganir.

-1866 Hessenberg, D.Die vielgesuchten Spaltungsstücke dieses edelsten und berühmtesten unter den Kalkspäthen haben seit langer Zeit zu Tausenden den Weg in die Werkstätten der Naturforschung gefunden... og fékk hann nokkur sýni frá A. Purgold. 1872 segir hann að Fr. Scharff hafi komist yfir „eine frische Zufuhr“, og 1874 fær hann sýni frá Steeg. Reusch ritar í grein 1867 um að hafa fengið silfurberg frá „den Physikern wohl bekannte Optiker W. Steeg“.

-1870 C.D. Ahrens, U.K. byrjar að smíða stór Nicol-prismu skv. Cheshire (1906-07).

-1874 Baumgarten, D. fékk góð sýni frá Henriques eðalsteinahöndlara í Kaupmannahöfn.

-1874 Jardin, Fr. segir: „...mais l'Islande seule le produit assez limpide pour que les experiences [þ.e. tilraunir eðlisfræðinga á ljósi] puissant être faites avec succès“. Svipað orðalag er í II. bindi steindafræðibókar Des Cloizeaux sama ár, en hann nefnir að við Rossie í New York finnist „cristaux quelquefois aussi limpides que du spath d'Islande“.

-1876 Spottiswoode, U.K. segir í frétt í The Times 24. ágúst ...that he had fortunately had the first pick of two cargoes of Iceland spar... og lét m.a. búa til kúlu 5“ í þvermál.

-1880 Glazebrook, U.K.... Iceland spar, which could be obtained in large pieces with ease..., sama ár fær W. Huggins sérsmíðuð prisma hjá verkstæði A. Hilgers í London. Hilger auglýsir í The Observatory 1880 að hann hafi „A large stock of perfectly pure Iceland spar“, og 1882 á hann „A large stock of unmounted Iceland-Spar prisms“

-1883 Skýrsla Þ.Th. á Þjskjs.: smávegis unnið 1882 og selt Opt. F. Schmidt í Berlín.

-1884 Feussner, D. ... nefnir ýmsar gerðir Nicol-prisma sem Steeg & Reuter framleiði, þeir auglýsa þau og kalkspat einnig í 2. útg. kristallafræðibókar Groths árið eftir.

-1886 Danker, D. velur sýni til mælinga úr „grösserer Anzahl von Spaltungsstücken“.

-1886-90 var H. Struers að selja efni úr tilraunavinnslu 1885, sjá m.a. Verh. D. Geol. Ges.

-1887 Pulfrich, D., notar íslensk kalkspatstykki frá Steeg & Reuter.

-1890 Hoskyns-Abrahall, U.K. segir að Thor Tulinius í Danmörku selji kalkspat úr lager föðurins, sem haldi verðinu háu.

- 1891 Dufet, Fr. um að brotstuðlar ýmissa sýna af spath d'Islande hafi mælst mjög svipaðir...il me paraît d'ailleurs peu vraisemblable que l'indice varie d'un échantillon à l'autre, étant donné que tout le spath utilisé pour l'optique provient du même gisement.
- Um 1895-99 Fyrirtæki B. Halle, D. býður mikið úrval af prismum o.fl. úr silfurbergi (sjá *Mynd* 32-2), sömuleiðis auglýsa þeir þau á heimssýningunni í St. Louis 1904.
- 1901 Hinrichsen, D. fær „grössere Menge von isl. Doppelspat“ frá Schmidt & Haensch.
- 1900 Ussing, DK (1902) virðist vera unnið í námunni hvert sumar frá 1895, en skv. plöggum Thors E. á Þjóðskjalasafni (og bréfi Zeiss 1906) hafa gæðin farið minnkandi.
- 1903 Pockels, D. fær kalkspatprismu frá Steeg & Reuter til þrýstimælinga.
- 1905 4. útg. bókar Groths, D.: auglýsing frá Steeg & Reuter um Alle Arten Polarisationsprismen, einnig frá R. Fuess og W. Apel um Nicol-prismu.
- 1909 Rose, U.S.?, um efnagreiningar:...Iceland spar is pure and easily obtained,....
- 1921 Ingersoll, U.S. í grein um glarimeter: ...the required optical parts – Wollaston double-image prism, nicol and lens – could be fairly readily obtained. A number of these glarimeters have been made up [for use] in various paper mills,...
- 1922 Tutton, U.K. There is, happily, plenty of smaller calc-spar constantly being discovered [ekki segir hann hvar], so that Nicol prisms for all ordinary crystallographic apparatus and the polarising microscope are more or less readily procured.... og á öðrum stað segir hann kristallana á markaðnum vera „adequate for all but projection purposes“.
- 1925 Schütz, D. og 1927 Kellström, Svíþjóð.... Nota kalkspat frá Steeg & Reuter, ekki sagt hvaðan ættað.
- 1928 Schönrock, D. Eine Zeitlang schien es allerdings, als wenn bald die nötige Menge an reinem Kalkspat-Material nicht mehr geliefert werden könnte.
- 1928 Schulz, D. í Wien-Harms: Die amerikanischen Vorkommen bei Cedarville (Kalifornien) und Graycliff (Montana) liefern mit wenigen Ausnahmen nur minderwertige...Kristalle. Weitere wenigstens bedingt brauchbaren Doppelspat ergebende Fundstellen sind bekannt geworden in Südafrika, in Brasilien, sowie neuerdings im Gebiet der russischen Sowjetrepubliken.
- 1936 Verðlisti um eðlisfræðikennslutæki frá H. Struers Chemiske Laboratorium, DK, býður Nicol-prismu og kalkspat í stærðum eftir pöntun.
- 1937 Hughes, U.S. ...Recent demand for Iceland spar has been supplied principally from South Africa (sbr. Helga H. Eiríksson 1943, sem einnig nefnir m.a. Spán og Síberíu).
- 1949 Dan E. Mayers í New York auglýsir í 2. árgangi tímaritsins *Acta Crystallographica*, bls. 260, að hann selji kristalla af tæru silfurbergi, kvarsí o.fl. efnun til ljósfræðirannsókna.
- 1962 Shureliff, U.S., grein um skautun ljóss í *Am. J. Physics* vísar á fyrirtæki í Chicago sem selur ýmiskonar „calcite polarisers“.

Viðauki 1C. Bréf G.G. Stokes 1886, sjá 25. kafla

Lensfield Cottage, Cambridge, 6 July, 1886.

To his Excellency, the Minister for Iceland, Copenhagen.

Sir,

As I hold the office of president of the Royal Society of London, the oldest scientific society in this Kingdom, I hope your Excellency will excuse me for troubling you on a matter of scientific importance, possibly also of some slight commercial interest to your country.

This mineral known as calcite is much used by scientific men for instruments employed in investigations and lectures relating to polarised light. This mineral is common enough: but it has nowhere, to my knowledge, been found in large, clear, regularly crystallized masses except in Iceland, from which circumstance it is otherwise called Iceland spar. It is from Iceland that the supply of this material used by opticians has been exclusively derived.

Some years ago large blocks of this material used to be imported into this country from Iceland, and were freely purchased, and used by opticians. But for some time the supply has altogether ceased: the stock in hand has been used up, and opticians try in vain to get more. I feared that the mines were exhausted, but I am informed that the cause of the cessation of the supply is that the mines were purchased by Government and have not since been worked.

I imagine that they have been worked in a rather wasteful way, for the sake of quick returns, and probably at the time of the purchase there was a glut in the market: for though there is a steady demand for the material it is not used in large quantities, and the consumption is slow. But I hear on all sides from opticians and scientific men of the impossibility of procuring the material now, so there can be no doubt that there would be a demand for it if it could be supplied.

The magnificence of the blocks I used to see some years ago leads me to suspect that among the heaps of rubbish about the mine there may be many small pieces which were not thought worth collecting, nor were they perhaps when the market was glutted. But when I mention that a piece an inch or an inch and a half long and say three eighths of an inch in diameter would suffice to make a prism which when made could be sold for perhaps 8 shillings, even when there was still spar to be had in the market, it will be seen that even small pieces, comparatively speaking, have their value: and the collection of these, if such there be lying about, might help to defray the cost of re-opening the mine.

I enclose a translation of this letter into Icelandic, which my friend Mr. Magnússon has kindly undertaken to make.

I have the honour of being your Excellency's obedient servant

G.G. Stokes (sign.)

Viðauki 2. Efnagreiningar á íslensku silfurbergi

Ath.: Ég hefi sjálfsagt ekki náð í allar efnagreiningar sem til eru.

Fourcroy og Vauquelin (1804): Íslenskt silfurberg: ekkert gefið upp um óhreinindi.

Thenard og Biot (1807): Chaux carbonatée rhombohedral: vatn 0,63%. Ekki er sagt hvaðan sýnið er, en Malus (1811, bls. 306) og Des Cloizeaux (1874, bls. 113) segja þessa samsetningu eiga við spath d'Islande.

Stromeyer (1814): Íslenskt silfurberg: manganoxíð og vottur af járni, samanlagt 0,15%. Andreasberg í Þýskalandi: 0,36% af sama, og 0,10% af vatni.

Dumas (1842): Íslenskt silfurberg: kísill 0,013%, járnnoxíð 0,017%, örlítið af magnesium og mangan. Kalsiumkarbonat 99,97%.

Erdmann og Marchand (1842, 1844): Íslenskt silfurberg (sehr reine Stücken): kísill 0,014%, magnesiumoxíð 0,005%, járnnoxíð 0,020%, örlítið af kalium eða brennisteini. Kalsiumkarbonat 99,96%. Í greininni 1844 er ekki skýrt tekið fram að um íslenskt efni sé að ræða, en þá fæst úr einu silfurbergssýni 0,001% kísill, og samanlagt um 0,035% af ál-, járn- og manganoxíðum, og í öðru sýni voru alls 0,049% af sömu óhreinindum.

Stas (1892): Spath d'Islande inniheldur kísil (einn hluta af sjö til átta þúsund) og örlítið litium.

Hinrichsen (1901, 1902): Fjórar mælingar á mulningi úr nokkrum íslenskum sýnum: meðaltal 0,046% járnkarbonat (eða 0,032% hematit). Sýni frá Krímskaga var svipað, en gat hugsanlega einnig innihaldið smávegis magnesium.

E. Marbach (doktorsritgerð í Leipzig 1913, tilvitnuð af Hintze 1930): Eitt íslenskt sýni, „nur geringe Spuren MgO“. Sýni frá Cumberland í Norður-Englandi gaf 0,13% MgO.

G.K. Almström (J. Prakt. Chemie 99, 1919): Notar sýni af tæru íslensku kalkspati til að prófa aðferð við að mæla vatn og kolsýru í steindum, og fær að í því séu 0,26% H₂O og 43,83% CO₂ (sem ættu að vera 43,94% ef efnið væri alveg hreint kalk).

F. Hastings Smyth og L.H. Adams (J. Am. Chem. Soc. 45, 1923): Gera rannsóknir á varmafræðilegum stærðum og efnajafnvægi í kerfinu CaO-CO₂ við háan hita, og nota við það „natural Iceland spar“ sem er „found by analysis to be free from iron and manganese and contain less than 0,05% of MgO“

Foote og Bradley (1926): Sýni af „transparent cleavage crystals of Iceland spar“, sem ekki sagt hvaðan komi, innihélt örlítið af járnkarbonati samsvarandi 0,04% af hematiti. Í Proc. Nat. Acad. Sci. 16, bls. 214 segir F. Zwicky: „It is known...that Iceland spar of the purest kind contains only 0,03% Fe₂O₃ and no other chemically measurable contaminations“ og er hann þá ef til vill með þessa mælingu í huga.

Bearden (1931b): Tvö íslensk sýni: járnnoxíð 0,007% og 0,006%, manganoxíð 0,008% og 0,007%. Kísill, ál- og magnesiumoxíð fundust ekki, kalsiumkarbonat 99,98%. Svipuð samsetning var í sýnum frá Montana, Spáni og Argentínu.

Ievins og Straumanis (1940): Tvö íslensk sýni: járnkarbonat 0,005% í báðum, mangankarbonat 0,032% og 0,011%, zinkkarbonat 0,001% í báðum, magnesium- og bariumkarbonat örlítið, strontiumkarbonat 0,01-0,05%, kalsiumkarbonat 99,92 og 99,95%. Hreinna sýni er frá Cumberland, óhreinni frá Noregi, Kákasus, Graz og Andreasberg.

D. Habermann (Mineralogy & Petrology 76, 2002): Mælir innihald af Mn í sýni af silfurbergi frá Helgustöðum 0,02% og af Fe 0,025%.

Efnagreiningar á kalkspati víða að úr heiminum eru í bók Hintzes (1930, bls. 2956-), þau sýni geta innihaldið allt að 5% og jafnvel meira af aukaefnum.

Viðauki 3. Nokkrar myndir af eða úr silfurbergsnámunni

Atlas tilheyrandi Ferðabók P. Gaimards: teikning E. Roberts af opnunni við Silfurlæk, 1836. Endurbirt m.a. í Ritverkum Jónasar Hallgrímssonar, II. bindi, Rvk. 1989 og af Leó Kristjánssyni (2003).

Í útstillingarskápum Mineralogisk Museum við Östervoldgade í Kaupmannahöfn er teiknuð mynd af silfurbergs-opnunni, sem gæti verið úr ferð Fr. Johnstrups 1871. Ég veit ekki til þess að hún hafi birst á prenti.

H. Labonne: Ljósmynd af tveim sjóliðum í námunni 1887, birt í bók Æsu Sigurjónsdóttur „Ísland í sjónmáli – Islande en vue“, Rvk. 2000. Hluti myndarinnar var endurbirtur af Leó Kristjánssyni (2003).

A. Helland: Teikning (úr ferð 1881) fylgir grein hans í Archiv Math. Nat. 9, 1884.

Þorvaldur Thoroddsen: Teikning af silfurbergsæðum gerð 1882, birtist í greinum hans 1890 og var tekin upp t.d. af Merrill (1910) og Dammer og Tietze (1913). Frumrit þriggja teikninga eru með skýrslu Þ. Th. frá 8.11. 1882 á Þjóðskjalasafni.

C. Kuchler: Wüstenritte und Vulkanbesteigungen auf Island, útg. 1909. Ljósmynd af þrem námumönnum. Hún er endurbirt í 2. bindi Eskju, sem út kom á Eskifirði 1983, sem og af Leó Kristjánssyni (2003). Kuchler virðist hafa fengið þessa mynd frá öðrum, ef til vill Daniel Bruun.

Helgi Hermann Eiríksson: Teikningar í Transactions Inst. Mining Eng. (1920), ein endurbirt hér og af Leó Kristjánssyni (2003); teikningar og þrjár ljósmyndir í Tímariti VFÍ (1922). Betri teikningar í kvarða 1:500, dags. 1921 eru í Þjóðskjalasafni (Stjórnarráð Ísl. II, Dagbók 6 nr. 385, 1.6.1921).

E. Consemüller: Ljósmynd sem hann tekur að öllum líkindum í júlí 1924, er í 2. bindi ritverks H. Kuhns og R. Prinz (2003), bls. 140. Þessi mynd er svo endurbirt í Árbók F. Í. 2005 eftir Hjörleif Guttormsson, ásamt mynd Labonnes og mynd af opi ganganna frá 1921.

Stefán Einarsson, Árbók F.Í. 1955 um Austfirði sunnan Gerpis: Ljósmynd Þorsteins Jósepsonar af manni við op námuganga, ódagsett.

Sigurður S. Jónsson (1988): Ljósmyndir af munna námaganganna og af vegghleðslu í þeim. Einnig lausleg teikning af göngunum, sem Sigurður kannaði 1987 og mældust þau 82 m á lengd að meðtöldum hlykk innarlega.

Viðauki 4. Ýmis vensl milli manna og tengsl við Ísland, sem ef til vill stuðluðu að útbreiðslu silfurbergs og rannsókna varðandi það á 19. öld.

Í minnisblöðunum hér að framan er mikill fjöldi nafna vísindamanna, sem sum geta verið kunnugleg bergfræðingum eða eðlisfræðingum, en flest eru eflaust ókunn mörgum sem þessi blöð lesa. Hvert nafn skýtur þar upp kollinum eitt og sér, og má þá spyrja: hvaða tengsl eru milli þeirra? Hvernig breiddist vitneskja um silfurbergið og eiginleika þess, tækjabúnað, hugmyndir í ljósfræði o.s.frv. út ?

Svo mikilvægt dæmi sé tekið, þá er ljóst að þann mikla áhuga á ljósfræði sem spratt upp í Frakklandi um 1807 og leiddi af sér gríðarlegar framfarir á því sviði, má rekja til rannsókna þeirra W. Herschels, T. Youngs, W.H. Wollastons og annarra handan Ermarsundsins um aldamótin. Þær fregnir hafa að líkindum borist með vísindatímaritum. Young var mjög vel lesinn í eldri vísindaritum, og kunnugur bæði verkum C. Huyghens og B. Martins. Rit Hauys um aldamótin hafa sjálfsagt einnig vakið áhuga einhverra á ljósfræði. Kipnis (1991, bls. 73) segir um Wollaston: “He had no particular interest in physical optics and came to the study of double refraction by a chance...” þegar hann hafði nýfundnið upp aðferð sína til mælinga á ljósbroti (Wollaston 1802a) og „...came across Iceland spar“. Cheshire (1923) segir hinsvegar að Wollaston hafi fundið tækið upp gagnert til mælinga á silfurbergi. Gaman væri að kanna þessi mál nánar og mörg önnur hliðstæð.

Hér koma nokkrar upplýsingar um vensl vísindamanna hvers við annan og við Ísland, sem ég hef rekist á. Þær eru tilviljanakenndar og alls óvíst hvort þau vensl skiptu nokkru máli, en eru skráðar hér mest til þess að sýna hve margt á eftir að kanna um samhengi hinna ýmsu rannsókna þar sem silfurberg kom við sögu. Ekki væri síður fróðlegt að kanna hvernig þau verkstæði í Þýskalandi, Frakklandi, Bretlandi og víðar sem nýttu silfurbergið, urðu sér úti um það og hvaða þátt þau áttu í eflingu rannsókna í ljósfræði, steindafræði o.fl.

F. Arago, sem var einn af þekktustu raunvísindamönnum Frakklands, kynntist T. Young og heimsótti hann 1816, eftir að styrjöldum Breta og Frakka lauk. Arago var einnig mjög vel kunnugur þýska náttúrufræðingnum A. v. Humboldt, sem bjó í París lengst af milli 1804 og 1827 (um tíma í sama húsi og Arago, við sömu götu og E. Malus vinur þeirra). Ásamt J.B. Biot, efnafræðingnum Thenard og fleirum voru þeir meðlimir í litlum en merkum félagsskap vísindamanna, Societé d'Arcueil. Það félag var kennt við þorp þar sem Laplace og efnafræðingurinn Berthollet bjuggu hlið við hlið.

G. Rose lærði steindafræði hjá C.S. Weiss, þeim sem kynnti Þjóðverjum kristallafræði Hauys. Rose vann nokkuð með E. Mitscherlich, og báðir störfuðu þeir (og sömuleiðis bróðir Roses) um tíma hjá J.J. Berzelius í Svíþjóð. Annar nemandi Weiss var F.E. Neumann, sem ritaði á unga aldri (um 1825) mikilsverðar greinar um geometriska kristallafræði en varð síðar merkur brautryðjandi í ljós- og fjaðurfræðum. H.W. Dove í Berlín sem ritaði einkum um veðurfræði (m.a. grein 1840 um veðurathuganir Jóns Thorstensens landlæknis), var einnig virkur í kristalla- og ljósfræði; hugsanlega hefur hann kynnst þeim sviðum hjá Neumann við Königsberg-háskóla 1828-29.

Humboldt lagði í langan leiðangur um Síberíu 1829, og voru ferðafélagar hans þar C. G. Ehrenberg og G. Rose. Ehrenberg ritaði um 15 árum seinna greinar um örverur í íslenskum jarðvegssýnum, sem hann hafði fengið hjá F.A.L. Thienemann (sem kom í silfurbergsnámuna

1820-21). Einnig kannaði Ehrenberg gjósku úr Heklugosinu 1845 sem hann hafði fengið að hluta gegnum Finn Magnússon og J.G. Forchhammer í Kaupmannahöfn, að hluta frá R. Bunsen. G. Rose lýsti m.a. fyrstur geislasteininum epistilbiti (að öllum líkindum frá Íslandi) 1826, og ritaði enn síðar um íslenska silfurbergið (Rose 1868). E. Mitscherlich kynntist kristallafræði 1818 hjá Rose, en hafði áður numið efnafræði hjá Fr. Stromeyer í Göttingen, sem birti greinar um efnasamsetningu silfurbergs. P. Groth sem síðar skrifaði bækur um kristallafræði, var einnig nemandi hjá Rose.

H.C. Ørsted sem varð heimspektur af að uppgötva seguláhrif rafstraums 1820, skrifaði sjálfur ekki um silfurberg svo ég viti, en hafði a.m.k. í einhverjum tilvikum milligöngu um að útvega öðrum það frá Íslandi. Til munu vera bréfaskipti milli Ørsteds og íslenskra manna, sjá spjaldskrár þær sem Sverrir Kristjánsson tók saman um bréf til Íslendinga og frá þeim í dönskum skjalasöfnum. J.G. Forchhammer jarð- og efnafræðingur í Kaupmannahöfn, sem sá á sínum tíma um steindasafn Hafnarháskóla, gæti einnig hafa komið þarna við sögu. Hann ritaði greinar um jarðfræði og steindafræði Íslands, en ekki fann ég þó neitt um silfurberg í þeim hluta bréfasafns hans, sem komið hefur á prent.

T.J. Seebeck var byrjaður á rannsóknum í ljósfræði þegar rit Malus vöktu áhuga hans á skautuðu ljósi um 1810. Hann ritaði greinar m.a. um áhrif þrýstings á ljóseiginleika glers, en er þekktastur fyrir að hafa fundið upp Seebeck-áhrif (hitaröfun) sem m.a. M. Melloni nýtti síðar við rannsóknir á varmageislun. Sonur hans, A. Seebeck, kannaði endurkast ljóss frá silfurbergi en sneri sér síðan að öðrum rannsóknum.

Skotinn D. Brewster fékk eins og fyrr er sagt, í a.m.k. eitt skipti mörg sýni af silfurbergi hjá landa sínum G.S. Mackenzie, sem hafði ferðast hér á landi 1810. Þeir voru eflaust vel kunnugir, því að Mackenzie ritaði greinar um margvísleg málefni í tímarit þau sem Brewster gaf út í Edinborg. Einnig fékk Brewster (skv. greinum hans og bréfi til H.C. Ørsteds) sýni af steindum hjá feðgunum T. og R. Allan í Edinborg. T. Allan, sem var bankamaður, átti stórt steindasafn, og vann Austurríkismaðurinn W. Haidinger við að skrá það um 1825. D.S.B. telur áhuga Haidingers á ljósfræði steinda tengjast kynnum hans af Brewster. F. Zirkel starfaði í a.m.k. eitt ár um 1862 hjá Haidinger í Vínarborg (skv. minningargrein um Zirkel 1912), og var þá að vinna að tímamótagreini um smásjárrannsóknir á þunnsneiðum bergsýna sinna frá Íslandi og víðar. Meðal þeirra yngri vísindamanna í Vínarborg sem Haidinger hafði að líkindum áhrif á, eru J. Grailich, V. v. Lang og G. Tschermak.

Merkar rannsóknir í ljósfræði, rafsegulfræði og fleiri sviðum eðlisfræðinnar voru gerðar af Írum á löngu árabili á 19. öld. Sumir fluttust raunar til Englands eða Skotlands á unga aldri, eins og G.G. Stokes og Kelvin lávarður, eða störfuðu þar lengi. Af írskum vísindamönnum í ritskránni hér má nefna J.H. Jellett, J. MacCullagh, H. Lloyd, W.R. Hamilton og J. Tyndall, síðar G.F. FitzGerald, W.N. Hartley, T. Preston og J. Larmor.

J.D. Forbes (sem rannsakaði m.a. varmageislun), P. Kelland og W. Nicol kenndu við Edinborgarháskóla, þegar J.C. Maxwell var nemandi þar. Tækjasmiðirnir Bryson í Edinborg, sem Nicol var vel kunnugur, bjuggu einnig til silfurbergsprismu fyrir fyrrnefndan Jellett o.fl. A. Bryson kom til Íslands 1862. W. Sang var mágur W. Nicols.

Meðal kennara L. Pasteurs voru J.B. Dumas, sem var mjög þekktur efnafræðingur og efnagreindi meðal annars silfurberg, og G. Delafosse sem hafði lært hjá Haüy. Áhugi Pasteurs á skautuðu ljósi og optiskri virkni virðist síðan hafa vaknað við lestur greina eftir E. Mitscherlich og J.B. Biot frá um 1844. Biot, sem var lengi hátt settur í frönskum vísindum, var einmitt um það leyti að koma því í kring að ungur steindafræðingur, A. Des Cloizeaux var sendur til Íslands 1845 til að kanna silfurbergsnámuna, og kom aftur árið eftir ásamt R. Bunsen o.fl. H. Rosenbusch var nemandi Bunsens og nefnir oft íslensk bergsýni í ritum sínum. Bandaríkjamaðurinn F.E.

Wright lærði hjá Rosenbusch. R. Fuess sem varð einn stærsti framleiðandi bergfræði-ljóstækja um aldamótin, hóf feril sinn á því sviði að líkindum með smíði smásjáa fyrir P. Groth um 1870 og síðan Rosenbusch. C. Leiss vann lengi hjá Fuess en setti síðan upp sjálfstæðan rekstur.

J.B. Soleil var einn merkasti sjóntækjasmíður í Frakklandi, og var verkstæði hans stofnsett 1819. Soleil vann m.a. með Fresnel, Arago, Babinet, F. Rudberg í Svíþjóð og J. Nörrenberg í Þýskalandi, og ritaði greinar um ýmsar uppfinningar sínar fram til um 1850. Verkstæðið skiptist þá upp: J. Duboscq tengdasonur J.B. Soleils rak hluta þess lengi og síðan Ph. Pellin sem tók við 1886. Hinn hlutann rak H. Soleil og síðan frændi hans L. Laurent, A. Jobin frá 1892 og síðar G. Yvon. Bæði verkstæðin gátu sér ekki sist orð fyrir polarimetra og annan búnað tengdan ljósskautun. H. de Senarmont var upphaflega verkfræðingur, en rannsóknir Fresnels vöktu áhuga hans á rannsóknum í kristalla- og ljósfræði og gerði hann þar margháttáðar uppgötvanir og uppfinningar. Kemur fram í greinum hans, að hann hafði mikil samskipti við Soleil-verkstæðið.

Fjórar kynslóðir merkra eðlisfræðinga af ættinni Becquerel skrifuðu allir sitthvað um ljósfræði (þar á meðal skautað ljós) og kristalla. Fyrstur var Antoine César, þá Edmond, Henri (en fyrri kona hans var dóttir J. Jamins) og Jean. Alfred bróðir Edmonds sem var læknir, notaði polarimetra við rannsóknir á blóði og (sjá Vernois og Becquerel 1853) á matvælum.

Af nemendum fyrrnefnds F.E. Neumanns stunduðu m.a. G. Kirchhoff, W. Voigt og L. Sohncke rannsóknir í kristalla- og ljósfræðum. Sonurinn C. Neumann, sem varð einn af þekktari stærðfræðingum Þjóðverja, ritaði einnig nokkuð um þau mál. Bandaríkjamaðurinn D.B. Brace nam m.a. ljósfræði hjá Kirchhoff, og ýmsir nemendur hans við Nebraska-háskóla héldu áfram merkjum rannsóknum hans á optiskri virkni, s.s. F.J. Bates, A.Q. Tool og C.A. Skinner. Meðal nemenda Voigts voru P. Drude, F. Pockels og R.A. Houstoun.

Viðauki 5. Nóbelsverðlaun, Nóbelsverðlaunahafar og silfurberg

Nóbelsverðlaun í vísindum voru fyrst veitt 1901. Tengslum ýmissa Nóbelsverðlaunahafa við silfurberg og Nicol-prismu fram til 1930 eða svo má ef til vill skipta í fimm flokka:

1. Nóbelsverðlaun fyrir uppgötvanir sem varla hefðu verið gerðar án silfurbergs eða Nicol-prisma:

-Emil Fischer, efnafræði 1902: skilningur á byggingu þeirra sameinda af sykri og ýmsum fleiri efnum sem hann smíðaði, var algerlega háður mælingum á optiskri virkni með polarimetrum. Sjá kafla 27.4, og um önnur not hans af skautuðu ljósi í kafla 29.1. Fischer kannaði einnig kjarnsýrur, og er vitnað til niðurstaðna hans í erindi A. Kossels við móttöku Nóbelsverðlauna í lífeðlis- og læknisfræði 1910 fyrir rannsóknir á þeim.

-Alfred Werner, efnafræði 1913: nýjar víddir opnuðust í ólífrænni efnafræði með rannsóknum hans. Kauffman (1968, bls. 175) segir Werner hafa fengið verðlaunin „largely as a direct result of his resolution of optically active coordination compounds“ og birtir mynd af polarimeter hans. Sjá kafla 27.5.

2. Nóbelsverðlaun þar sem skautun ljóss, silfurberg eða Nicol-prismu skiptu talsverðu máli en voru e.t.v. ekki afgerandi:

-H.A. Lorentz og P. Zeeman, eðlisfræði 1902: Zeeman-hrif, sjá kafla 30.1 og 30.2.

-J. Stark, eðlisfræði 1919: Stark-hrif, sjá kafla 30.2.

-C.V. Raman, eðlisfræði 1930: Raman-ljósdræifing, sjá kafla 39.7.

3. Nóbelsverðlaun þar sem kalkspat (e.t.v. íslenskt silfurberg) eða Nicol-prismu komu eitthvað við sögu:

Hér má nefna eðlisfræðiverðlaun fyrir rannsóknir á kristöllum með röntgengeislum (kaflar 36.2 og 36.3), svo sem verðlaun Bragg-feðga 1915 og M. Siegbahns 1924, auk A.H. Comptons 1927 (kafla 36.6); Compton gerði einnig mælingar á endurkasti röntgengeisla frá kalkspati um 1917. Í ræðu sinni á Nóbelhátíð 1926 segir J.-B. Perrin frá mælingum á örþunnum himnum sem gerðar voru á hans vegum um 1920 til að ákvarða stærðir sameinda, með tæki A. Michel-Lévys (Mynd 22-4). Perrin kannaði einnig í því skyni svonefndar Brownskar hreyfingar smáagna, og fékk raunar áhuga á því viðfangsefni (skv. D.S.B.) í framhaldi af rannsóknum R. Zsigmondys á svifefnum með ultra-smásjá sem nefndar eru hér að neðan.

Efnafræðiverðlaun W. Ostwalds 1909 voru veitt fyrir rannsóknir á hraða efnahvarfa. Fjalla a.m.k. tvær greinar hans um slíkar hraða-mælingar með polarimeter (sjá Ostwald 1884), en þær voru þó aðeins lítill hluti af vinnu hans á þessu sviði. Hinsvegar má rifja hér upp þær rannsóknir Ostwalds á litum sem nefndar eru í kafla 29.7. Skrif S. Arrhenius (1889) um inversion-hvörf sykurs (og áhrif hitastigs og salta á þau) voru sömuleiðis aðeins lítilllega tengd þeim athugunum á rafleiðandi vökvum sem hann fékk verðlaunin fyrir 1903, en í þeirri grein sem og í Nóbels-erindi sínu segir hann Ostwald hafa sýnt 1884 að hraði efnahvarfs sé í hlutfalli við styrk virks efnis.

Verðlaun O. Wallachs 1910 voru veitt fyrir rannsóknir á svonefndum terpen- og kamfóruefnum úr jurtaríkinu, m.a. með umfangsmiklum polarimeter-mælingum (sjá Nóbels-

erindi hans). Hann kom einnig að uppgötvun optiskrar virkni í lífrænum efnum sem ekki hafa spegil-samhverfu (centro-asymmetric compounds).

Verðlaun R.A. Zsigmondys 1925 voru veitt fyrir athuganir á svifefnum (colloids) og þróun svonefndrar ultra-smásjár. Þær rannsóknir voru að ýmsu leyti framhald af umfjöllun J. Tyndalls og annarra um ljósdreifingu (scattering) allt frá 1869, sbr. kafla 27.1, og af rannsóknum Zsigmondys sjálfs á lita-tilbrigðum glers. Sjá t.d. grein Zsigmondys (1901) sem nefnd var í kafla 29.5, og Siedentopf og Zsigmondy (1903). Nicol-prismu voru notuð við sérhæfðar athuganir í þeim smásjám (sjá Zsigmondy 1925, bls. 10), og Bachmann (1915) segir þau hafa komið þar að gagni við að greina milli ljóss frá mismunandi ögnum.

A. Windaus fékk Nóbelsverðlaun 1928 fyrir uppgötvanir varðandi sterol-efnasambönd og vensl þeirra við vítamín. Eins og fram kemur í kafla 29.2, áttu mælingar með polarimetrum nokkurn þátt í rannsóknum á efnum úr þeim flokkum allt frá því um 1890. Windaus og samstarfsmenn lýsa í greinum bæði fyrir og eftir 1928 prófunum sínum á slíkum efnum með polarimeter. Sjá má einnig í tímaritum, að ýmsir aðrir gripu til polarimetra og skautunar-ljós mæla við rannsóknir á sama sviði.

A. Harden (verðlaun 1929) og W.J. Young leystu með polarimeter-mælingum úr tilteknum vandamálum varðandi þau efni sem myndast við gerjun sykurs.

4. Nóbelsverðlaunamenn sem gerðu ýmsar rannsóknir með silfurbergi eða á skautuðu ljósi (sumt af því er í ritskránni hér að neðan) en fengu verðlaunin fyrir annað:

Eðlisfræði: Hér má einkum telja W.C. Röntgen 1901 (sjá kafla 23 og 36.1), H. Becquerel 1903, Rayleigh lávarð 1904, A.A. Michelson 1907 og R.A. Millikan 1923. C.G. Barkla fékk verðlaun ársins 1918 fyrir rannsóknir á tengslum bylgjulengda Röntgen-geislunar við brautir rafeinda í frumefnum, en eitt af því sem hann rannsakaði áður varðandi þá geisla, voru skautunareiginleikar þeirra, sjá kafla 36.2. M. Born sem fékk verðlaunin 1954 fyrir framlag til skammtafræðinnar, ritaði m.a. stórmerkar fræðilegar greinar um orsakir optiskrar virkni (Born 1915, 1935 o.fl.) og um Kerr-hrif, auk mikilvægra bóka um eðlisfræði kristalla og um ljósfræði (Born 1933, o.fl.). Einnig má nefna að J.J. Thomson verðlaunahafi 1906 birti a.m.k. þrjár kennilegar ritgerðir um skautað ljós, og M. Planck (verðlaun 1918), ritaði grein um varmafræðilegar hliðar Faraday-hrifa. N. Bohr (verðlaun 1922), J. Franck og G. Hertz (verðlaun 1925), W. Heisenberg (verðlaun 1932), E. Fermi (verðlaun 1938) o.fl. skrifuðu um skautun ljómunar og hermigeislunar, Zeeman-hrif og tengd málefni fyrir 1930 (sjá t.d. Bohr 1922, Keussler 1927).

Efnafræði: J.H. van't Hoff 1901, sjá m.a. kafla 16.2 og 22.3; E. Buchner 1907; R. Willstätter 1915 (sjá greinar í heimildaskrá); W. Nernst verðlaunahafi 1920 skrifaði merka grein með P. Drude (sjá kafla 28.4) um standandi ljósbylgjur.

Lífeðlis- eða læknisfræði: A. Gullstrand (verðlaun 1911) notaði skautað ljós í sumum rannsóknum sínum á augum, sjá kafla 29.7.

Síðan má velta fyrir sér, hvort einhverjar ofannefndra uppgötvana, eða aðrar tengdar skautun ljóss, hafi verið afgerandi varðandi rannsóknir sem Nóbelsverðlaun voru veitt fyrir síðar. Sem dæmi má nefna, að Zeeman-hrifin og skyldar rannsóknir á útgeislun ljóss gáfu til kynna að rafeindir hegðuðu sér eins og litlir seglar með skömmtuð gildi á segulvægi sínu. Þetta var staðfest í tilraunum W. Gerlachs og O. Sterns 1921-22, þar sem silfurgufa var send gegnum sterkt misleitt segulsvið (kafla 30.2), og fékk Stern verðlaunin í eðlisfræði 1943 fyrir þá niðurstöðu. Verðlaun A. Kastlers 1966 voru veitt fyrir rannsóknir sem hann hóf um 1930 og vörðuðu skautun ljóss í hermigeislun og í Raman-hrifum: fremst í Nóbels-erindi sínu vitnar

hann í grein Hanles frá 1931 sem nefnd er í kafla 39.3. Í Dictionary of Scientific Biography (1980-90) er sagt að niðurstöður O. Wallachs og annarra um byggingu terpena hafi mjög greitt götu rannsókna á steroid-efnum (A. Windaus, verðlaun 1928) og carotenoid-efnum (P. Karrer, verðlaun 1937). Einnig sýnist mér af greinum, að ýmsir aðrir Nóbelsmenn í efnafræði s.s. A. v. Baeyer 1905, E. Buchner 1907, R. Willstätter 1915, H. O. Wieland 1927 og H. Fischer 1930 hafi í hinum verðlaunuðu rannsóknum rannsakað lífræna efnaflokk og ferli sem ýmist höfðu með hendnar kolefnisfrumeindir að gera beint eða óbeint, og/eða höfðu verið rannsökuð með skautunar-ljósmælum. Af síðari árgöngum efnafræðinga má á sama hátt tiltaka W.N. Haworth 1937 (sjá Haworth og Hirst 1930), R. Robinson 1947, og fleiri eftir það. Til dæmis kannaði Haworth terpen-efni snemma á ferli sínum, og gerði síðar merkar rannsóknir á byggingu sykurefna út frá optiskri virkni þeirra, þar með „mutarotation“-fyrirbrigðinu sem nefnt er í kafla 27.7. Hann fékk Nóbelsverðlaunin fyrir smíði á hendna efninu askorbínsýru (C-vítamíni), og er hagstætt að nota til þeirrar smíði sumar af sykur-isomerunum sem E. Fischer hafði gert grein fyrir um aldamótin (kafla 27.4). Án rannsókna Fischers hefði einnig þekking á byggingu kjarnsýra (verðlaun F. Cricks og J. Watsons í lífeðlis- eða læknisfræði 1962) aflast hægar en ella, og nægir þar að benda á ribósa-sykurinn sem þær innihalda (kafla 27.4).

O. Warburg, Nóbelsverðlaunahafi í lífeðlis- eða læknisfræði 1931, hóf vísindaferil sinn með rannsóknum á optiskt virkum lífrænum efnunum hjá E. Fischer 1903-06. Á sama hátt ritaði F. W. Aston verðlaunahafi í efnafræði 1922, fyrstu vísindagreinar sínar um optiska virkni hjá P.F. Frankland 1901. Fyrirnefndur P. Karrer sem hlaut efnafræðiverðlaunin 1937, skrifaði doktorsritgerð um kóbolt-komplex hjá A. Werner 1911 og birti ýmislegt um rannsóknir með skautuðu ljósi síðar.

5. Tilvik þar sem Nóbelsverðlaunahafar útveguðu aðstöðu til rannsókna á eða með skautuðu ljósi, þótt þeir stæðu ekki sjálfir í viðkomandi ljósmælingum. Hér má nefna það að við stofnun þá sem H. Kamerlingh Onnes (verðlaunahafi í eðlisfræði 1913) stýrði, rannsakaði P. Zeeman segulhrif Kerrs og uppgötvaði í framhaldi af því Zeeman-hrifin. Þar gerði J. Becquerel einnig merkar uppgötvanir varðandi eitt afbrigði Faraday-hrifa (í meðseglandi efnunum) við lág hitastig, og W.H. Keesom kannaði ljósdreifingu í vökvum. J. Hildebrand (1908) vann hjá W. Nernst með skautunar-ljósmæli sem Nernst lét smíða. W. Hanle rannsakaði skautun í hermigeislun málmgufa á rannsóknastofu J. Francks (verðlaunahafa í eðlisfræði 1925). J.W. Beams, F. G. Dunnington og L.H. Stauffer rituðu athyglisverðar greinar um Kerr-rafhrif (sjá kafla 38) meðan þeir störfuðu hjá E.O. Lawrence (verðlaunahafa í eðlisfræði 1939).

Viðauki 6. Þýðingar úr frönsku og þýsku

Hér eru lauslegar þýðingar á setningum sem fyrir koma í textanum, ef þær eru ekki auðskildar eða þýddar þar jafnharðan.

k. 1 fremst, Tschermak: Íslenska silfurbergið, þessi óviðjafnanlega steind, hornsteinn þekkingar okkar á eðli kristalla.

k. 3.2, Lang: Eiginlegar rannsóknir á kristöllum hefjast með uppgötvun silfurbergsins.

k. 5.2, Hauy: Allt er orðið ljóst !

Hintze: Með athugunum sínum á kalkspati lagði Hauy grunninn að stærðfræðilegri kristallafræði.

k. 5.3, Hauy: Hvert efnasamband má aðgreina frá öðrum út frá lögun þeirra agna sem það er byggt úr; hún er sérkennandi fyrir það efni og ekki önnur.

k. 6.7, Daumas: Skautunarfyrirbrigði urðu meginviðfangsefni eðlisfræðinga. Malus hafði komið ljósfræðinni í tísku.

k. 7.1, Billet: Hin fræga tilraun Fresnels með þverstæða silfurbergsstrendinga, upphugsuð af þeim mikla eðlisfræðingi til að eyða mótbárum gegn kenningu hans um liti kristalþynna.

k. 9.2, Tschermak-Becke: Kalkspat er merkust steinda í vísindalegu tilliti. Saga kalkspatsins er saga steindafræðinnar.

Kreutz: Hin mikla samhverfa kalkspatsins gefur möguleika á mun betri yfirsýn um óreglur í byggingu þess en hægt er að afla sér í kristöllum með færri samhverfueiginleika.

Hochstetter: Kristallaflokkur kalkspats er þróaðastur allra.

Bauer: Kalkspat kristallast líklega í fleiri formum en nokkur önnur steind.

Beckenkamp: Vegna útbreiðslu sinnar og hæfni til myndunar kristalla eru kvars og kalkspat líkast til mikilvægastar allra steinda.

k. 9.3, Lummer: Þess vegna er íslenska silfurbergið notað öllum steindum fremur í tilraunum varðandi tvöfalt ljósbrot.

Cornu: Tilraunir mínar hafa að mestu verið gerðar á prismum úr íslensku silfurbergi. Það efni er sérlega vel til þessháttar tilrauna fallið, vegna þess hve það er einsleitt, glært, klofnar eftir reglulegum flötum og hefur mikinn mun brotstuðlanna tveggja. Ljóseiginleikar sýna af því eru alltaf þeir sömu, eins og fjöldi eðlisfræðinga hefur fundið.

k. 10.4, Liebis: Vandaðar mælingar A. Seebecks á skautun ljóss við endurkast frá kalkspati hafa haft afar mikla þýðingu fyrir rannsóknir á ljósfræði kristalla.

k. 13.1, Dove: Tækjasmíðurinn Hirschmann hér [þ.e. í Berlín], sem hefur búið til Nicol-prismu handa mörgum náttúrufræðingum...

Mascart: ...þrátt fyrir þá gríðarlegu þykkt af kristöllum (36 cm) sem tilraunin útheimti. Þetta er svo vegna þess að íslenskt silfurberg er e.t.v. glærasta og einsleitasta efni sem fyrirfinnst.

k. 15.1, Plücker: Ef einása kristall er hengdur upp milli skauta [skeifulaga] seguls, hrinda bæði skautin ásnum frá sér. Íslenska silfurbergið sýnir þetta á mjög ákveðinn hátt.

k. 18.1, Tony-Garcin: Svíksamleg íblöndun sykurs, glúkósa og dextrins í vín er orðin afar umfangsmikil.

Krecke: Þar eð rannsóknir í lífrænni efnafræði hafa nú í seinni tíð beinst að því að finna hvernig frumeindir raðast saman í sameindir, hefur mikilvægi mælinga á optiskri virkni farið vaxandi. Varla eru til heppilegri aðferðir til rannsókna á byggingu sameindanna.

k. 18.2, Lang: Ljósbrotsseiginleikar eru stöðugt að verða mikilvægari þáttur í greiningu steinda.

Vogelsang: Skautunarsmásjá er ekki aðeins mjög hjálpleg við að greina milli steinda, svo sem kvars og feldspats, plagioklas-feldspats með tvíburabynnum og annars feldspats, leucits og völuhlaga feldspatkorna o.s.frv. Sér í lagi nýtast manni smásjárnar við að átta sig á eðli þess hluta bergsins sem hefur oft verið lýst með lauslegum hætti sem grunnmassa: sjá má ótvírætt hvort hann er glerkenndur, hálf-kristallaður eða kristallaður.

k. 18.3, Nägeli: Í skautuðu ljósi sést afar vel, að micelle-kornin eru úr kristölluðu efni.

k. 19, Jardin: Vísindamennirnir í leiðangri La Recherche öfluðu mjög mikils magns úr námunni.

k. 21.1, Hessenberg: En um kristallafræði þess vita menn nánast ekki neitt.

v. Rath: Eins og kunnugt er, hafa menn sjaldan tækifæri til að sjá vel myndaða kristalla þaðan.

k. 21.3, Laspeyres: Þeir hafa myndast samkvæmt reglu sem G. Rose setti fram (tvíburafliötur -1/2 R) og minna því fullkomlega á samsvarandi kristalla í kalkspati frá Íslandi og víðar.

Groth: Kalkspat býður þó upp á lang-áhugaverðustu fyrirbrigðin og jafnframt þau merkustu frá fræðilegu sjónarhorni.

Voigt: Draga má þá ályktun, að í allri aflögun fastra efna verði miklar tilfærslur innan sameindanna.

k. 22.2, Berthelot: Syrpa kamfóruefnanna er með þeim áhugaverðustu í lífrænu efnafræðinni.

Landolt: Það að auðvelt var að ákvarða magn kamfóru í lausn með ljóstækjum [væntanlega er þá átt við polarimetra] hafði mikla hagnýta þýðingu.

Um Scheibler: Úrgangs-afurð sem var stundum hvímeið og til vandræða.

k. 22.3, Darmois: Prismu og linsur í tækinu voru að öllu leyti úr silfurbergi.

k. 26, Dumas: Gera á efnagreiningar og efnasmíð í miklu magni, með einföldum efnahvörfum mjög hreinna efna.

k. 27.1, Verdet-Exner: Einn áhugaverðasti eiginleiki svífefna [þ.e. reyks, gruggugra vökva o.þ.h.].

Rev. Gén.: Tilraun Tyndalls leiddi til lausnar á ráðgátunni.

k. 27.2, Groth: Einkum ómissandi við rannsóknir á hverskyns ástandsbreytingum efna.

k. 27.4, Fischer: Til að gefa mynd af þessu, má segja að ensím og sykkurefni þurfi að passa saman eins og lykll og skrá til þess að efnahvarf eigi sér stað.

Fischer og Thierfelder: Hæfileiki efnis til að gerjast er nátengdur rúmfræðilegri byggingu sameindar þess, og má kalla það þrívíddar-efnafræðilegt viðfangsefni.

k. 27.5, Werner: Margháttaðir erfiðleikar urðu á vegi okkar í þessari rannsókn, og það eina sem bætti þar úr skák var hin gríðarmikla optiska virkni [efnisins].

k. 27.7, Bruhat: Uppgötvast hafa [með polarimetrum] ýmis hægfara efnahvörf sem ekki hefði annars fengist vitneskja um. Ákvörðun á hraða og jafnvægisástandi þessara hvarfa hefur haft grundvallarþýðingu í þeim tilraunum sem hafa staðfest lögmálin um efnafræði lausna.

k. 29.1, Weinschenk: Þessi vísindagrein [og þar á hann við bergfræði] á þær stórstígu framfarir sem orðið hafa á síðasta þriðjungi 19. aldar, eingöngu smásjarrannsóknum að þakka.

Correns: Þróun veltiborðsins fyrir smásjár hefur t.d. mjög eflt rannsóknir á grófkorna steindum, sér í lagi þeim auðkennandi steindum sem eru mikilvægar fyrir olíuðnaðinn.

k. 29.2, Walden: Skoðum hina aðdáunarverðu og síkviku vél efnafræðirannsókna í dag. Sjáum við þá ekki að það eru optískt virk náttúruafni á borð við terpen- og kamfóruhópana, alkaloida, sykrur, sterkju, fjöl-amylosa, tréni, blaðgrænu og sítunarefni sem eru í brennidepli áhuga lífrænna efnafræðinga og lífefnafræðinga ?

Lecher: Þeir eru notaðir til margskonar efnamælinga í lífeðlisfræði og meinafræði.

k. 29.4, Möller: Eins og kunnugt er, eru einungis ljósmælar með skautunarprismum nothæfir til nákvæmra mælinga.

k. 29.5, Zsigmondy: Afar mikilvæg fyrir gleriðnaðinn.

Serpek: Fylgjast þarf nákvæmlega með hitastiginu, með Wanner-mæli.

k. 29.6, Newcomb-Engelmann: Næst á eftir lifrófsgreiningum eru ljósmælingar mikilvægasta svið stjarnæðlisfræði.

k. 29.8, Mascart: Hin mikla tvístrun ljóssins í venjulega geislanum [í silfurbergi] gerir kleift að greina sundur miklu fleiri litrófslínur.

Kayser og Runge: Tilgátturnar hafa reynst haldlausar. Balmer kom aftur hreyfingu á þessi mál.

k. 30.1, Zeeman: Líklegt var því, að þarna væri um raunveruleg áhrif segulsviðsins á ljósið að ræða. Þau líkindi urðu að vissu, þegar tókst að sjá skautunar-fyrirbrigði tengd breikkuninni [á litrófslínunum].

Phys. Zeitschr.: Uppgötvun Zeemans og frekari rannsóknir tengdar henni hafa vakið mjög mikla athygli meðal eðlisfræðinga.

Epstein: Ótvíræð sönnun á réttmæti líkans Bohrs af frumeindinni.

Bruhat: Þetta var eitt fyrsta skiptið þar sem skammtakenningunni var beitt með góðum árangri.

Tomaschek: Mikilvægt framlag til rannsókna á eðli ljóss.

k. 30.2, Born: Landé varð fyrstur til að leiða tilraunaniðurstöður varðandi Zeeman-hrifin út frá skammtakenningunni. Það átti mjög mikilvægan þátt í uppbyggingu kenningarinnar sjálfar og hagnýtingu hennar á eðli frumeinda.

k. 31, Einstein: Hinar misheppnuðu tilraunir til að mæla hreyfingu jarðar miðað við „ljósvakann“ vekja grunsemdir um að hugtakið alger kyrrstaða sé ekki raunhæft.

k. 32, Leuze: Þeir standa kristöllum frá Íslandi lítið að baki.

k. 33, Bauer: Stundum eru skautunarprismu gerð úr öðrum efnum, svo sem natriumsaltþétri.

Halle: Mun meiri vandkvæðum bundið er að vinna [þ.e. kljúfa, slípa o.s.frv.] hann en silfurberg.

Schulz og Gleichen: Tilraunir til að nýta aðra kristalla með svipaða ljóseiginleika í stað kalkspats, sem hefur verið nær eina efnið [í skautunarprismum], hafa hingað til engum árangri skilað.

k. 36.3, Wagner og Kulenkampff: Mjög erfitt er að fá fram endingargóða klofningsfleti á saltkristöllum.

Siegbahn: Kalkspat tvístrar röntgengeislum álíka mikið og salt, og mun auðveldara er að fá góð sýni af því. Einnig segir hann: matarsalt reyndist ekki gefa nógu skarpar litrófslínur, og: við nákvæmnismælingar og við könnun á samsettum litrófslínunum hefur kalkspat einkum verið notað.

Ievins og Straumanis: Saltkristallar eru ekki heppilegir til nákvæmnismælinga vegna þess að þeir eru samsettir úr smærri einingum, svipað og mosaikmynd.

k. 36.7, Stuart: Ákvörðun á því hversu frábrugðið ástand dreifða ljóssins er frá línulegri skautun, er ásamt Kerr-hrifunum mikilvægt atriði: draga má ályktanir um byggingu sameinda og um gagnkvæmar verkanir milli hluta þeirra.

k. 36.8, Schaefer o.fl.: Í stærsta kristallinum, tærum skástrendingi af íslensku silfurbergi 40 mm á kant, nægði að lýsa filmuna í fáeinir stundir.

k. 39.1, Zirkl: [Polaroid-þynnur] geta í langflestum tilvikum komið með ágætum í stað kalkspatprisma.

Bergmann-Schaefer: Nicol-prismu eru sérstaklega vel til ljósmælinga fallin. (Swensson og Weigert taka undir það sjónarmið í kaflanum).

Viðauki 7. Nokkur af þeim tímaritum sem mest er vitnað í

Am. Mineral. = American Mineralogist.

Ann. Chim. = Annales de Chimie et de Physique, síðar skipt í tvö tímarit.

Ann. Phys. = Annalen der Physik (oft kennt við J. Poggendorff eða aðra útgefendur).

Arch. Sci. Phys. Nat. = Archives des Sciences Physiques et Naturelles, kom upphaflega út sem Supplément við svissneska tímaritið Bibliothèque Universelle.

Astron. Nachr. = Astronomische Nachrichten.

Astrophys. J. = Astrophysical Journal, bandarískt.

Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. = Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft zu Berlin.

British Assoc. Report = Report of the (Annual) Meeting of British Association for the Advancement of Science. Prentaðar skýrslur um ársfundi, með greinum o.fl.

Bull. Soc. Minéral. Fr. = Bulletin de la Société Minéralogique de France, síðar Bulletin de la Société Française de Minéralogie.

Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. = Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie Française des Sciences. Stuttar greinar; stærri verk birtust sem Mémoires.

C.R. Assoc. Fr. = Compte-Rendu, Session (Annuelle) de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences. Ársfundir.

Edinb. Philos. J. = Edinburgh Philosophical Journal (sem klofnaði svo í Edinburgh Journal of Science og Edinburgh New Philosophical Journal).

J. Am. Chem. Soc. = Journal of the American Chemical Society.

J. Biol. Chem. = Journal of Biological Chemistry, bandarískt.

J. Chem. Soc. = Journal of the Chemical Society, upphaflega: ...of London. Á tímabili komu út af því til skiptis bindi af Transactions (greinar) og Abstracts (útdrættir).

J. Pharm. = Journal de Pharmacie et de Chimie.

J. Prakt. Chemie = Journal für Praktische Chemie (oft kennt við O. L. Erdmann).

Mineral. Mag. = Mineralogical Magazine, breskt.

Mineral. Petrogr. Mitt. = Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, austurrískt tímarit stofnað af G. Tschermak.

Naturwissensch. = Die Naturwissenschaften. Á undan því kom út Naturwissenschaftliche Rundschau.

N. Jahrb. Mineral. = Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie.

Phil. Mag. = Philosophical Magazine. Breskt tímarit, einkum um eðlisfræði.

Phil. Trans. Royal Soc. = Philosophical Transactions of the Royal Society of London.

Phys. Rev. = The Physical Review, útgefið af American Physical Society.

Phys. Zeitschr. = Physikalische Zeitschrift.

Proc. Nat. Acad. Sci. = Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.

Proc. Royal Soc. = Proceedings of the Royal Society of London. Framan af voru í ritinu útdrættir eða hlutar greina sem birtust í heild í Philosophical Transactions.

Rev. Gén. Sci. = Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées.

Rev. Sci. = Revue Scientifique (upphaflega: Revue des Cours Scientifiques).

Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin = Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (áður Monatsberichte, og þar áður Berichte). Stór ritverk birtust í Abhandlungen-syrpu akademiunnar.

Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien = Sitzungsberichte der Königlichen Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse. Stærri ritmíðar birtust í Denkschriften.

Zeitschr. Krystallogr. = Zeitschrift für Krystallographie (upphaflega: ... und Mineralogie).

Zeitschr. Phys. = Zeitschrift für Physik.

Zeitschr. Physikal. Chemie = Zeitschrift für Physikalische Chemie.

Zeitschr. Physiol. Chemie = Zeitschrift für Physiologische Chemie, stofnað af F. Hoppe-Seyler.

Heimildir og athugasemdir

- Abbe E. (1885) Abbe's analysing eye-piece. *J. Royal Microsc. Soc.* 4, 462- , sjá m.a. lýsingu í Glazebrook 1923.
- Abderhalden E. (1913) *Abwehrfermente des Tierischen Organismus*, 3. útg. J. Springer, Berlín, 229 bls.
- Abderhalden E. og M. Kiutsi (1912) *Biologische Untersuchungen über Schwangerschaft*. *Zeitschr. Physiol. Chemie* 77, 249-258.
- Abney W. de W. og E.R. Festing (1888) Colour photometry. Part II. The measurement of reflected colours. *Phil. Trans. Royal Soc.* 179, 547-570.
- Abraham H. og H. Buisson (1897) Nouvelle méthode optique d'étude des courants alternatifs. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 125, 92-94.
- Abraham H. og J. Lemoine (1900) Nouvelle méthode de mesure des durées infinitesimals. Analyse de la disparition des phénomènes électro-optiques. *Ann. Chim.* 20, 264-287. Sjá einnig *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 130, 245-248.
- Abria J.J.B. (1873) Directions des mouvements vibratoires des rayons réfractés dans les cristaux uniaxes. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 77, 1268-1269. Sjá Schrauf 1885-86.
- Abria J.J.B. (1874, 1875) Études de la double réfraction – vérification de la loi d'Huyghens. *Ann. Chim.* 1, 289-317. Double réflexion intérieure dans les cristaux biréfringents uniaxes. 5, 550-570, með tilraunum á kvarsi og silfurbergi.
- Adami J.G. og L. Aschoff (1906) On the myelins, myelin bodies and potential fluid crystals of the organism. *Proc. Royal Soc.* B78, 359-368.
- Adams F.D. (1910) An experimental investigation into the action of differential pressure on certain minerals and rocks. *J. Geol.* 18, 489-525.
- Adams F.D. og J.T. Nicolson (1901) An experimental investigation into the flow of marble. *Phil. Trans. Royal Soc.* A195, 363-401.
- Adams W.G. (1875, 1879) A new polariscope. *Phil. Mag.* 50, 13-17. Measuring polariscopes. 8, 275-277. Sjá einnig Becke 1879.
- Ahrens C.D. (1885) On a new form of polarizing prism. *Phil. Mag.* 19, 69-70. Upp úr *J. Royal Microsc. Soc.*
- Airy G.B. (1833a,b) On a new analyzer, and its use in experiments of polarization. *Trans. Cambr. Philos. Soc.* 4, 313-322. Þýðing í *Ann. Phys.* 26, 140-150, 1832. On a remarkable modification of Newton's rings. 279-288, meira 409-424. Sjá einnig Lloyd 1834. Útdráttur í *Phil. Mag.* 10, 141- , 1831, þýðing á honum í *Ann. Phys.* 22, 611-613, 1831.
- Airy G.B. (1833c) On the nature of the light in the two rays produced by the double refraction of quartz. *Trans. Cambr. Philos. Soc.* 4, 79-124, 199-208. Þýðing í *Ann. Phys.* 23, 204-271, 1831 með viðbót útgefandans bls. 271-274.
- Albert Sohn J.V. (1859) *Optische Apparate*. *Ann. Phys.* 108, 658-660. Auglýsing.

- Allen F. (1902) Persistence of vision in color-blind subjects. *Phys. Rev.* 15, 193-225. Meira í 28, 45-56, 1909.
- Allison S.K. og W. Duane (1925) On scattered radiation due to X-rays from molybdenum and tungsten targets. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 11, 25-27.
- Ambrohn H. (1896) Ueber Pleochroismus pflanzlicher und thierischer Fasern, die mit Silber- und Goldsalzen gefärbt sind. *Ber. Kön. Sächs. Gesellsch. Wiss.* 48, 613-628.
- Ambrohn H. (1916) Ueber das Zusammenwirken von Stäbchendoppelbrechung und Eigendoppelbrechung. *Kolloid-Zeitschr.* 18, 90-97, 273-281. Framhald í 20, 173-185, 1917.
- Ambrohn H. og H. Frey (1926) Das Polarisationsmikroskop. Seine Anwendung in der Kolloidforschung und in der Färberei. *Akad. Verlagsgesellsch., Leipzig*, 194 bls.
- American Mineralogist (1918) The Abbé René-Just Haüy celebration. *Am. Mineral.* 3, 49-133. Ýmsir höfundar.
- Amici G.B. (1844) Note sur un appareil de polarisation. *Ann. Chim.* 12, 114-117. Description d'un petit microscope achromatique. 117-120. Lýsing á smásjánni, ásamt mynd, birtist áður í bók R. Gerbi, *Corso Elementare di Fisica*, 3. bindi bls. 229-231, Pisa 1832.
- Aminoff G. (1946) Large dispersion in X-ray spectrography obtained by using ground faces. *Nature* 157, 517. Notar íslenskt silfurberg.
- Ammann E.O. og G.A. Massey (1968) Modified forms for Glan-Thompson and Rochon prisms. *J. Opt. Soc. Am.* 58, 1427-1433.
- Ampère A.M. (1813-15) Démonstration d'un théorème d'où l'on peut déduire toutes les lois de la réfraction ordinaire et extraordinaire. *Mém. Institut 1813-15*, 235-248.
- Ampère A.M. (1835) Note sur la chaleur et sur la lumière considérées comme résultant de mouvemens vibratoires. *Ann. Chim.* 58, 432-444.
- Anderson W.C. (1937) A measurement of the velocity of light. *Rev. Sci. Instr.* 8, 239-247.
- Andrieu L. (1886) Sur un chromatomètre, appareil destiné à mesurer la couleur des liquides. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 103, 281-284.
- Anitschkow N. og S. Chaladow (1913) Ueber experimentelle Cholesterinsteatose und ihre Bedeutung für die Entstehung einiger pathologischen Prozesse. *Centralbl. Allgem. Pathol.* 24, 1-9. Mikilvæg grein um æðasjúkdóma, ensk þýðing í *Arteriosclerosis* 3, 178-182, 1983.
- Appelquist J. (1987) Optical activity: Biot's bequest. *American Scientist* 75(1), 59-68. Fróðleg grein um þróun ýmissa rannsókna á optískri virkni frá 1810 og fram á 20. öld.
- Appleton E.V. (1929) Telephotography by wire and wireless. *The Times* 29. okt., bls. xix.
- Arago F. (1811) Mémoire sur une modification remarquable qu'éprouvent les rayons lumineux dans leur passage à travers certains corps diaphanes d'optique. *Mém. Institut* 12 (pte. 1), 93-134, endursögn í *Ann. Phys.* 40, 145-161, 1812.
- Arago F. (1833) Stutt frásögn í *Ann. Phys.* 29, 191-192, þar sem m.a. eru nefndar mælingar á styrk tungsljóssins.
- Arago F. (1835) Ueber das Gesetz des Cosinusquadrats für die Intensität des polarisirten Lichts, welches von doppeltbrechenden Krystallen durchgelassen wird. *Ann. Phys.* 35, 444-457.
- Arago F. (1847) Sur un micromètre oculaire à double réfraction. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 24, 400-401, þýðing í *Ann. Phys.* 71, 405-407.
- Arago F. (1852) Notice sur les observations qui ont fait connaître la constitution du soleil et celles de diverses étoiles. Þýðing í *Edinb. New Philos. J.* 52, 193-210.
- Arago F. og A. Fresnel (1819) Mémoire sur l'action que les rayons de lumière polarisés exercent les uns sur les autres. *Ann. Chim.* 10, 288-305.
- Archard J.F. og Taylor A.M. (1948) Improved Glan-Foucault prism. *J. Sci. Instr.* 25, 407-409.
- Ari Trausti Guðmundsson (2003) Jarðfræði og efnisnámur. Í: *Steinuð hús, ritröð Húsafríðunarnefndar ríkisins* nr. 6, 22-26.

- Armstrong E.F. (1904) Studies on enzyme action II. The rate of change, conditioned by sacroclastic enzymes, and its bearing on the law of mass action. *Proc. Royal Soc.* 73, 500-516, framhald 516-526, 526-537, 537-542 og 74, 184-187, 188-194, 195-201, 1905.
- Armstrong H.E. o.fl. (1908) Studies of the processes operative in solutions – Parts VI-X. *Proc. Royal Soc.* A81, 80-140, einkum greinar IX-X eftir R.J. Caldwell og R. Whympfer.
- Arndtsen A. (1858) Sur la polarisation circulaire de la lumière dans divers liquides. *Ann. Chim.* 54, 403-421, útdráttur í *C.R.* 47, 738-740.
- Arons L. (1910, 1912) Das Chromoskop. *Ann. Phys.* 33, 799-832. Das Arbeiten mit dem Farbenweiser (Chromoskop) 39, 545-568. Sjá einnig Borchardt 1913.
- Arrhenius S. (1889) Über die Reaktionsgeschwindigkeit bei der Inversion von Rohrzucker durch Säuren. *Zeitschr. Physikal. Chemie* 4, 226-248.
- Arzruni A. (1893) *Physikalische Chemie der Krystalle*. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 365 bls. Sérprentun úr Graham-Otto's Lehrbuch der Chemie, Bd. I, Abth. 3.
- Aschan O. (1901) Die Constitution des Camphers. *Liebigs Ann. Chem.* 316, 196-241.
- Aschkinass E. (1900) Ueber anomale Dispersion im ultraroten Spectralgebiete. *Ann. Phys.* 1, 42-68.
- Aufsess O.v. (1904) Die Farbe der Seen. *Ann. Phys.* 13, 678-711.
- Ault R.G., D.K. Baird, H.C. Carrington, W.N. Haworth, R. Herbert, E.L. Hirst, E.G.V. Percival, F. Smith og M. Stacey (1933) Synthesis of d- and of l- ascorbic acid and of analogous substances. *J. Chem. Soc.* 1933, 1419-1423. Sjá einnig 1270-1290.
- Azzam R.M., ritstj. (1991) *Selected Papers on Ellipsometry*. Milestone Series 27, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, 736 bls.
- Babcock H.D. (1923) A determination of e/m from measurements of the Zeeman effect. *Astrophys. J.* 58, 149-163.
- Babinet J. (1837) Précis d'un mémoire sur les caractères optiques des minéraux. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 4, 758-766.
- Babinet J. (1840) Sur un nouveau point neutre dans l'atmosphère. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 11, 618-620, og fleiri greinar á næstu árum.
- Babinet J. (1853) Note descriptive du photomètre industriel. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 37, 774-775. Einnig smákláusa í *British Assoc. Report* 24, pt. ii, 2, 1854.
- Bachmann W. (1915) Über Ultramikroskopie und kolloide Lösungen. *Naturwissensch.* 3, 181-185, 191-195.
- Badermann G. (1910) Der isländische Doppelspat und Natronsalpeter. *Zeitschr. Angew. Chem.* 23, 727-728. Svipað er einnig í *Ind. Chim.* 10, 330, 1910 og í *J. Franklin Inst.* 172, 92, 1911.
- Baeyer O. v. og E. Gehrcke (1909) Über den Zeemaneffekt in schwachen Magnetfeldern. *Ann. Phys.* 29, 941-955.
- Baillaud J. (1924) Étude de spectrophotométrie stellaire. *Bull. Astron.* 4, 275-349.
- Bakhuyzen H.G. van der S. (1872) Zur Theorie des Polaristrobometer und des drehenden Nicols. *Ann. Phys.* 145, 259-278.
- Balmer J.J. (1885) Notiz über die Spektrallinien des Wasserstoffs. *Verhandl. Naturf. Gesellsch. Basel* 7, 548-555, 750-752. Svipað í *Ann. Phys.* 25, 80-87.
- Barabascheff N. (1927) Polarimetrische Beobachtungen an der Mondoberfläche und an Gesteinen. *Astron. Nachr.* 229, 7-14.
- Barkla C.G. (1904) Polarisation in Röntgen rays. *Nature* 69, 463. Nánar í *Phil. Trans. Royal Soc.* A204, 467-479, 1905 og framhald í *Proc. Royal Soc.* A77, 247-255, 1906.
- Barlow W. (1883) Probable nature of the internal symmetry of crystals. *Nature* 29, 186-188, 205-207.
- Barlow W. (1897) The relations of circular polarization, as occurring both in the amorphous and crystalline states, to the symmetry and partitioning of homogeneous structures, i.e. of crystals. *Phil. Mag.* 11, 119-136.

- Barnard F.A.P. (1863) Lectures on the undulatory theory of light. Annual Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution for 1862, 107-239.
- Barr E. Scott (1962) The infrared pioneers – II. Macedonio Melloni. *Infrared Physics* 2, 67-74. Grein I sem birtist 1961, er um W. Herschel.
- Bartholin R. (1669) *Experimenta Crystalli Islandici Disdiaclastici Quibus Mira & Insolita Refractio Detegitur*. D. Paulli, Hafniae, 60 bls. Endurútg. 1670 og síðar, sjá t.d. Buchwald og Pedersen 1991.
- Bartholin R. (1671) An accompt of sundry experiments made and communicated by that learned mathematician Dr. Erasmus Bartholin, upon a chrysal-like body, sent to him out of Island. *Phil. Trans. Royal Soc.* 5, 2039-2048 (bls. 545-549 í styttri útg. 1, 1809). Ath.: með orðinu crystal var á þessum árum átt við bergkristall (kvars) fremur en kristalla almennt.
- Bartlett W.H.C. (1859) On the direction of molecular motions in plane polarized light. *Am. J. Sci.* 30, 361-367.
- Basset A.B. (1892) *A Treatise on Physical Optics*. Deighton, Bell & Co., Cambridge, 411 bls.
- Bates F.J. (1908) A quartz compensating polariscope with adjustable sensibility. *U.S. National Bureau of Standards Bull.* 4, 461-466 og 5, 193-198. Sjá einnig bandarískt einkaleyfi no. 844012 veitt J.J. Fric.
- Bates F.J. o.fl. (1942) *Polarimetry, Saccharimetry and the Sugars*. Circular no. 440, U.S. National Bureau of Standards, Washington, 810 bls. Eldri rit N.B.S. um þessi mál voru no. 44, 1914, 144 bls. (endursk. 1917), og no. 12, 1906.
- Batuecas T. (1950) The pykno-X-ray method of determining atomic masses. *Nature* 165, 61-62.
- Bauer M. (1882) Ueber die Einrichtung des Fuess'schen Achsenwinkelapparats als Totalreflectometer. *N. Jahrb. Mineral.* 1882(1), 132-138.
- Bauer M. (1904) *Lehrbuch der Mineralogie*, 2. útg. Schweizerbart, Stuttgart, 924 bls.
- Baumgarten G. (1874) Die Elasticität von Kalkspatstäbchen. *Ann. Phys.* 152, 369-397.
- Baumhauer H. (1869) Ueber die Aetzfiguren und den Asterismus am Doppelspathe. *Ann. Phys.* 138, 563-565. Viðbætur í 139, 349-350; 140, 271-276, 1870 og 145, 459-463, 1871. Svipað: Ueber einige optische Erscheinungen am Kalkspath. *Das Ausland* 42, 1097-1098.
- Baumhauer H. (1878-79) Ueber künstliche Kalkspath-Zwillinge nach $-1/2R$. *Zeitschr. Krystallogr.* 3, 588-591.
- Baumhauer H. (1883) Über einige optische Erscheinungen am Quarz, Gyps und Kalkspath. *Mineral. Petrogr. Mitth.* 5, 285-289.
- Bayley W.S. (1937) Mineralogy's contribution to other sciences and to industry. *Am. Mineral.* 22, 147-168.
- Beams J.W. og F. Allison (1927) The differences in the time lags of the Faraday effect behind the magnetic field in various liquids. *Phys. Rev.* 29, 161-164.
- Bearden J.A. (1930) A double crystal study of scattered X-rays. *Phys. Rev.* 36, 791-798.
- Bearden J.A. (1931a,b) Absolute wave-lengths of the copper and chromium K-series. *Phys. Rev.* 37, 1210-1229. The grating constant of calcite crystals. 38, 2089-2098.
- Bearden J.A. (1935) The measurement of X-ray wavelengths by large ruled gratings. *Phys. Rev.* 48, 385-390.
- Bearden J.A. og G. Schwarz (1950) A precision evaluation of h/e by X-rays. *Phys. Rev.* 79, 674-684.
- Beccaria G.B. (1762) Observation sur la double réfraction du cristal de roche. *J. Phys.* 2, 504-510. Einnig í *Phil. Trans. Royal Soc.* 52, 486-490.
- Béchamp A. (1855) Note sur l'influence que l'eau pure et certaines dissolutions salines exercent sur le sucre de canne. *J. Pharm.* 27, 274-276, meira í 33, 210-211, 1858 og í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 46, 44-47, 1858.
- Béchamp A. (1873) Recherches sur l'isomérisation dans les matières albuminoïdes. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 77, 1525-1529.
- Béchamp A. (1884) Mémoire sur les matières albuminoïdes. *Mém. Savants Étrang.* 28, no. 3, 516 bls.
- Becher S. (1914) Über eine auf die Struktur des Echinodermenskelettes gegründete neue Methode zur Herstellung von polarisiertem Lichte. *Zool. Anz.* 44, 122-136.

- Beck H. (1943) Über eine Neukonstruktion des Polarisationsphotometers nach Martens. Zeitschr. Techn. Phys. 24, 226-228.
- Becke F. (1879) Ein neuer Polarisations-Apparat von E. Schneider in Wien. Mineral. Petrogr. Mitth. 2, 430-437. Sjá grein Schneiders í Carl's Repertorium 15, 744-754.
- Becke F. (1889) Die Krystallform des Traubenzuckers und optisch activer Substanzen im Allgemeinen. Mineral. Petrogr. Mitth. 10, 464-498.
- Beckenkamp J. (1912) Über Beziehungen zwischen Kristallographie und Chemie erläutert an den Mineralien Quarz und Kalkspat. Sitzungsber. Phys.-Med. Gesellsch. Würzburg 1912, 64-89.
- Beckenkamp J. (1915) Statische und Kinetische Kristalltheorien. Gebr. Borntraeger, Berlin, 670 bls.
- Beckenkamp J. (1923) Atomanordnung und Spaltbarkeit. Zeitschr. Krystallogr. 58, 7-39.
- Becker A. (1886) Ueber die Schmelzbarkeit des kohlen-sauren Kalkes. Mineral. Petrogr. Mitth. 7, 122-145.
- Becquerel A.C. (1828) Von einigen durch Drücken und Spalten der Krystalle hervorgebrachten elektrischen Erscheinungen. Ann. Phys. 12, 147-152, úr Ann. Chim. Upphaflega kynnt í frönsku akademiunni 1820, sjá Biot 1823.
- Becquerel A. (1849) Recherches sur le pouvoir moléculaire rotatoire de l'albumine du sang et des liquids organiques. Description d'un albuminimètre. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 29, 625-629. Meira í Arch. Gén. Méd. 22, 52-70, 156-166, 1850.
- Becquerel E. (1857 og síðar) Recherches sur les effets lumineux qui résultent de l'action de la lumière sur les corps. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 45, 815-819, framhald í 46, 969-975, 1858 og 47, 105-106. Ítarlegra í Ann. Chim. 55, 5-119 og 57, 40-124.
- Becquerel E. (1861) Recherches sur divers effets lumineux qui résultent de l'action de la lumière sur les corps. Quatrième mémoire: intensité de la lumière émise. Ann. Chim. 62, 5-100. Hér er mæld flúrljómun með nýjum ljósmæli með Nicol-prismum.
- Becquerel E. (1863) Recherches sur la détermination des hautes températures et l'irradiation des corps incandescents. Ann. Chim. 68, 49-143, sjá einnig Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 55, 826-829 1862 og 57, 681-682, 1863.
- Becquerel E. (1867) La Lumière. Ses Causes et ses Effets. Tome I, Sources de Lumière. Didot Frères, Fils & C^{ie}, Paris, 431 bls.
- Becquerel E. (1885, 1886) Étude spectrale des corps rendus phosphorescents par l'action de la lumière ou par des décharges électriques. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 101, 205-210. Action du manganèse sur le pouvoir de phosphorescence du carbonate de chaux. 103, 1098-1101.
- Becquerel H. (1877) Recherches expérimentales sur la polarisation rotatoire magnétique. Ann. Chim. 12, 5-87.
- Becquerel H. (1880) Recherches expérimentales sur la polarisation rotatoire magnétique dans les gaz. Ann. Chim. 21, 289-370.
- Becquerel H. (1897) Sur une interpretation applicable au phénomène de Faraday et au phénomène de Zeeman. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 125, 679-685. Meira í 127, 647-651 og 899-904, 1898. Sjá einnig G.F. FitzGerald í Proc. R.S. 63, 31-35, 1898.
- Becquerel H. og H. Deslandres (1898) Contribution à l'étude du phénomène de Zeeman. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 126, 997-1001. Observations nouvelles sur le phénomène de Zeeman. 127, 18-24.
- Becquerel J. (1909) Sur l'existence, dans la décomposition magnétique des bandes d'absorption d'un cristal uniaxe, de dissymétries de positions observées parallèlement aux lignes de force du champ. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 149, 200-202.
- Beer A. (1851, 1852) Versuch die Absorptions-Verhältnisse des Cordierites für rothes Licht zu bestimmen. Ann. Phys. 84, 37-44. Lýst er ljósmæli með silfurbergs-strendingum. Bestimmung der Absorption des rothen Lichts in farbigen Flüssigkeiten, 86, 78-88. Hér eru Nicol-prismu komin í stað strendinganna.
- Beer A. (1854) Herleitung der Cauchy'schen Reflexionsformeln für durchsichtige Mittel. Ann. Phys. 91, 467-481. Ueber die Cauchy'sche Näherungsformeln für Metallreflexion. 561-568. Útleiðsla á almennum endurkast-formúlum er svo í 92, 402-419.

- Beer A. (1882) *Einleitung in die höhere Optik*. 2. útgáfa, endurskoðuð af V. v. Lang. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 423 bls.
- Behrens H. (1891) *Reactionen für mikrochemische Mineralanalysen*. N. Jahrb. Mineral. Beilagebd. 7, 435-470.
- Beilby G.T. (1909) *Surface flow in calcite*. Proc. Royal Soc. A82, 599-605, sjá einnig um tilraunir hans við slípun á silfurbergi í A79, 218-225, 1904.
- Bence Jones H. (1861) *On sugar in the urine*. Quart. J. Chem. Soc. 14, 22-42.
- Benedict H.C. (1930) *The polarizing microscope in organic chemistry*. Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 2, 91-93.
- Bennett J. og H. Bennett (1978) *Polarization*. Section 10 í W.G. Driscoll, ritstj. Handbook of Optics. McGraw-Hill, New York, 164 bls. Ný útgáfa handbókarinnar kom 1995, með samsvarandi kafla eftir J. Bennett.
- Bérard J.E. (1812) *Mémoire sur les propriétés des différentes espèces de rayons qu'on peut séparer au moyen du prisme de la lumière solaire*. Mém. Soc. Arcueil 3, 1-47.
- Berek M. (1913a) *Mineralogisches Demonstrationsapparat*. Centralbl. Mineral. 1913, 181-189.
- Berek M. (1913b) *Zur Messung der Doppelbrechung hauptsächlich mit Hilfe des Polarisationsmikroskops*. Centralbl. Mineral. 1913, 388-396, 427-435, 464-470, 580-582.
- Berek M. (1915-20) *Ueber Neueinrichtungen am Polarisations-Mikroskop*. Zeitschr. Krystallogr. 55, 615-626.
- Berek M. (1931) *Das Problem der quantitativen Mikroskopie der Erzminerale und seine Lösung*. Zeitschr. Krystallogr. 76, 396-430 og 77, 1-22.
- Bergman T. (1763) *Observations on electricity and on a thunder-storm*. Phil. Trans. Royal Soc. 53, 97-100. Athuganir af svipuðum toga eru í bréfi frá E. Delaval í 52, 353-356, 1762.
- Bergman T. (1773) *Variae crystallorum formae, a spatho orthae*. Nova Acta Regiae Soc. Sci. Upsala 1, 150-155. Viðbætur gætu verið í endurútgáfu í greinasafni T.B., Opuscula Physica et Chimica, 2. bindi 1780.
- Bergman T. (1782) *Sciagraphia Regni Mineralis*. Lipsiæ et Dessaviæ, 166 bls.
- Bergmann-Schaefer (1959) *Lehrbuch der Experimentalphysik III, 1. Teil, Wellenoptik*. 2. útg. W. de Gruyter & Co., Berlin, 422 bls.
- Bernard C. (1872) *Des phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux XIX-XX. Identité du glycogène animal et de l'amidon végétal au point de vue des propriétés physiques*. Rev. Sci. 2 (1. sem.), 443-447.
- Bernard F. (1852) *Thèse sur l'absorption de la lumière par les milieux non cristallisés*. Ann. Chim. 35, 385-438. Hér er m.a. lýst ljósmæli með 4 Nicol-prismum.
- Bernard F. (1853) *Note sur la description et l'emploi d'un nouveau photomètre*. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 36, 728-731, einnig British Assoc. Report 24, pt. ii, 4-5, 1854 um skautunar-ljósmæli sem hafði verið sýndur af F. Arago í frönsku akademíunni 1853.
- Bernard F. (1854) *Mémoire sur la polarisation de l'atmosphère*. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 39, 775-779. Sjá einnig B.A. Report 24, pt. ii, 5-6, 1854.
- Bernard F. (1856) *Note sur la description et la théorie d'un nouveau cyanomètre*. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 43, 982-985.
- Bernauer F. (1930, 1935) *Ein neuer Weg zur Herstellung von Polarisatoren*. Fortschr. Mineral. 14, 227-228. Framhald í 19, bls. 22. Breskt einkaleyfi no. 490778 fyrir þessari tækni var veitt 1938.
- Bernhardi J.J. (1807) *Beobachtungen über die doppelte Strahlenbrechung einiger Körper, nebst einigen Gedanken über die allgemeine Theorie derselben*. Gehlen's J. Chem. Phys. Mineral. 4, 230-257. Meira um kalkspat o.fl. er í 6, 140-147, 1808 og 8, 152-162, 360-423, 623-662, 1809.
- Bernhardi J.J. (1808) *Darstellung einer neuen Methode, Krystalle zu beschreiben*. Gehlen's J. Chem. Phys. Mineral. 5, 157-198, 492-564, 625-654.
- Berthelot M. (1853) *Mémoire sur les diverses essences de térébenthine*. Ann. Chim. 40, 5-41.
- Berthelot M. (1858) *Sur le tréhalose, nouvelle espèce de sucre*. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 46, 1276-1279. Hann skrifar um fleiri nýjar sykurtægundir t.d. í C.R. 41 og 47.

- Berthollet C.L., - Chaptal og J.B. Biot (1813) Sur un mémoire de M. Bérard, relatif aux propriétés physiques et chimiques des divers rayons qui composent la lumière solaire. Ann. Chim. 85, 309-325. Einnig (eftir Biot) í Ann. Phys. 46, 376-391. Sjá Bérard.
- Bertin A. (1848) Sur la polarisation circulaire magnétique. Ann. Chim. 23, 5-32, einnig C.R. 26, 216- 217. Viðbót í C.R. 28, 500-501, 1849.
- Bertin A. (1859) Sur les franges que présente, dans la pince à tourmalines, un spath perpendiculaire placé entre deux micas d'un quart d'onde. Ann. Chim. 57, 257-290, útdráttur í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 48, 458-459. Sjá Bertin 1879.
- Bertin A. (1863) Note sur le microscope polarisant de Norremberg. Ann. Chim. 69, 87-96.
- Bertin A. (1870) Revue des travaux de physique publiés à l'étranger. IV. Optique. Ann. Chim. 20, 207-227. Um ýmsar nýjungar í smásjám og polarimetrum.
- Bertin A. (1875) Notice sur la projection des expériences de polarisation. J. Phys. 4, 71-84 og 111-120.
- Bertin A. (1879) Mémoire sur les couleurs des lames cristallisées dans la lumière polarisée elliptiquement. Ann. Chim. 18, 495-559, útdráttur í Z. Kr. 5, 36-80, 1881.
- Bertin A. (1884) Mémoire sur les franges des lames cristallisées uniaxes simples ou combinées. Ann. Chim. 2, 485-511.
- Bertram J. og H. Walbaum (1894) Über Isoborneol. J. Prakt. Chemie 49, 1-15. Über das Vorkommen von Camphen in ätherischen Oelen, 15-19.
- Bertrand E. (1878) De l'application du microscope à l'étude de la minéralogie. Bull. Soc. Minéral. Fr. 1, 22-28, 93-96. Framhaldsgreinar í 3, 4 og 8.
- Bertrand E. (1884a,b) Sur différents prismes polarisateurs. Bull. Soc. Minéral. Fr. 7, 339-345. Sur un nouveau prisme polarisateur. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 99, 538-540. Sjá einnig klausu eftir S.P. Thompson í Nature 41, 574, 1890.
- Beth R.A. (1936) Mechanical detection and measurement of the angular momentum of light. Phys. Rev. 50, 115-125.
- Bezold W. v. (1876) Eine neue Methode der Farbenmischung. Ann. Phys. 158, 606-612.
- Billet F. (1858-59) Traité d'Optique Physique I-II. Mallet-Bachelier, Paris, 540+640 bls. Sjá Mynd 17-1.
- Billet F. (1859) Sur une nouvelle méthode proposée à vérifier les lois qui régissent la réfraction du rayon extraordinaire dans le spath d'Islande. Ann. Chim. 55, 250-268. Áður kynnt í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 41, 514-516, 1855. Svipaðar mælingar voru svo gerðar af -. Pichot, C.R. 52, 356-358, 1861.
- Billet F. (1862) Mémoire sur les demi-lentilles d'interférences. Ann. Chim. 64, 385-418.
- Biot J.B. (1812) Sur un nouveau genre d'oscillation que les molécules de la lumière éprouvent en traversant certains cristaux. Mém. d'Institut 13, 1-371.
- Biot J.B. (1814) Découverte d'une différence physique dans la nature des forces polarisantes de certains cristaux. Bull. Soc. Philom. 1814, 175-176.
- Biot J.B. (1815a) Phénomènes de polarisation successive observées dans les fluides homogènes. Bull. Soc. Philom. 1815, 190-192.
- Biot J.B. (1815b) Examen comparé de l'intensité d'action que la force répulsive extraordinaire du spath d'Islande exerce sur les molécules lumineuses de diverses couleurs. Ann. Chim. 14, 281-295. Sama í Mém. Soc. Arcueil 3, 371-384, 1817.
- Biot J.B. (1815c) Expériences sur les larmes bataviques. Bull. Soc. Philom. 1815, 122-144.
- Biot J.B. (1816a) Sur l'utilité des lois de la polarisation de la lumière, pour reconnaître l'état de cristallisation et de combinaison, dans un grand nombre de cas où le système cristallin n'est pas immédiatement observable. Mém. Acad. Sci. 1, 275-346 (lesið í Akademiunni 1818).
- Biot J.B. (1816b) Nouvelles expériences sur le développement des forces polarisantes pa la compression, dans tous les sens des cristaux. Ann. Chim. 3, 386-394.

- Biot J.B. (1817) Sur les rotations que certaines substances impriment aux axes de polarisation des rayons lumineux. *Mém. Acad. Sci.* 2, 41-136 (lesið 1818).
- Biot J.B. (1818) Mémoire sur les lois générales de la double refraction et de la polarisation, dans les corps régulièrement cristallisés. *Mém. Acad. Sci.* 3, 177-384.
- Biot J.B. (1823) Ueber die Elektricitäts-Erregung durch Druck, nach Versuchen des Hrn. Becquerel. *Ann. Phys.* 73, 117-127, þýtt úr ritum frönsku akademiunnar 1820.
- Biot J.B. (1833) Sur un caractère optique, à l'aide duquel on reconnaît immédiatement les sucres végétaux qui peuvent donner du sucre analogue au sucre de canne, et ceux qui ne peuvent donner que du sucre semblable au sucre du raisin. *Ann. Chim.* 52, 58-72.
- Biot J.B. (1835) Mémoire sur la polarisation circulaire et sur ses applications à la chimie organique. *Mém. Acad. Sci.* 13, 39-175, flutt í akademiunni 1832.
- Biot J.B. (1838) Méthodes mathématiques et expérimentales, pour discerner les mélanges et les combinaisons définies ou non définies qui agissent sur la lumière polarisée; suivis d'applications aux combinaisons de l'acide tartrique avec l'eau, l'alcool, et l'esprit de bois. *Mém. Acad. Sci.* 15, 93-279, útdráttur í C.R. 2, 53-61, 1836.
- Biot J.B. (1840a) Sur la construction des appareils destinés à observer le pouvoir rotatoire des liquides. *Ann. Chim.* 74, 401-430, einnig í C.R. 11, 413-432.
- Biot J.B. (1840b) Sur l'utilité que pourraient offrir les caractères optiques dans l'exploitation des sucreries et des raffineries. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 10, 264-266.
- Biot J.B. (1840c) Sur l'emploi des caractères optiques, comme diagnostic immédiat du diabète sucré. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 11, 1028-1035.
- Biot J.B. (1843a) Sur l'application des propriétés optiques à l'analyse quantitative des mélanges liquides ou solides, dans lesquels le sucre de canne cristallisable est associé à des sucres incristallisables. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 16, 619-639.
- Biot J.B. (1843b) Note sur un travail de M. Bouchardat, relatif aux alcalis végétaux. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 17, 721-724.
- Biot J.B. (1844) Sur l'emploi de la lumière polarisée pour étudier diverses questions de mécanique chimique. *Ann. Chim.* 10, 5-53, 175-196, 307-327, 385-402 og 11, 82-112.
- Biot J.B. (1845a,b) Sur un moyen d'observation que l'on peut employer, pour la mesure des pouvoirs rotatoires. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 20, 1747-1759. Sur les propriétés optiques des appareils à deux rotations. 21, 453-473.
- Biot J.B. (1846) Sur un appareil construit par M. Ruhmkorff, pour faciliter l'exhibition des phénomènes optiques produits par les corps transparents, lorsqu'ils sont placés entre les pôles contraires d'un aimant d'une grande puissance. *Ann. Chim.* 18, 318-324.
- Biot J.B. (1848) Sur l'utilité d'une précaution hygiénique trop peu employée. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 27, 617-621. Sjá einnig smágrein eftir -. *Lespiau* í 26, 305-306.
- Biot J.B. og M. Melloni (1836) Sur la polarisation des rayons calorifiques par rotation progressive. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 2, 194-199.
- Biot J.B. og J. Persoz (1833) Mémoire sur les modifications que la fécule et la gomme subissent sous l'influence des acides. *Ann. Chim.* 52, 72-90.
- Birge R.T. (1941) The general physical constants as of August 1941 with details on the velocity of light only. *Repts. Prog. Phys.* 8, 90-134, stýtt í *Revs. Mod. Phys.* 13, 233-239.
- Björnstáhl Y. (1918) Untersuchungen über anisotrope Flüssigkeiten. *Ann. Phys.* 56, 161-207.
- Blazek M.C. (1976) Iceland Spar in New Mexico. *Earth Sci.* 29, 287-288.
- Blondel A. (1920) Sur une méthode pour la mesure de la transparence atmosphérique. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 170, 93-97.
- Blondlot R. (1888) Sur la double réfraction diélectrique; simultanéité des phénomènes électrique et optique. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 106, 349-352.

- Boeke H.E. (1912) Die Schmelzerscheinungen und die umkehrbare Umwandlung des Calciumkarbonats. N. Jahrb. Mineral. 1912(1), 91-121.
- Boffey H. og D.A. Derrett-Smith (1931) A new lustre-meter and spectrophotometer. J. Sci. Instr. 8, 356-360. Tækið byggist á ljósmæli H. Wanners frá 1902.
- Bohn C. (1874) Photometrische Untersuchungen. Ann. Phys. Erg.-bd. 6, 386-416.
- Bohr N. (1913) On the constitution of atoms and molecules. Phil. Mag. 26, 1-25.
- Bohr N. (1922) The effect of electric and magnetic fields on spectral lines. Proc. Phys. Soc. 35, 275-302.
- Bollman V.L. og J.W.M. DuMond (1938) Further tests of the validity of X-ray crystal methods of determining e. Phys. Rev. 54, 1005-1010.
- Boltzmann L. (1874) Ueber den Zusammenhang zwischen der Drehung der Polarisationssebene und der Wellenlänge der verschiedenen Farben. Ann. Phys. Jubelbd., 128-134.
- Borchardt B. (1913) Das Aronssche Chromoskop (Farbenweiser). Naturwissensch. 1, 949-953.
- Born M. (eldri, 1887) Beiträge zur Bestimmung der Lichtbrechungsverhältnisse doppeltbrechender Krystalle durch Prismenbeobachtungen. N. Jahrb. Mineral. Beilageb. 5, 1-51. M.a. kalkspat frá Bretlandi og Þýskalandi.
- Born M. (1915) Über die natürliche optische Aktivität von Flüssigkeiten und Gasen. Phys. Zeitschr. 16, 251-258. Meira um vökva og fleira í Ann. Phys. 55, 177-240, 1918.
- Born M. (1933) Optik. Springer, Berlin, 591 bls. Endurútgæfin óbreytt 1965.
- Born M. (1935) On the theory of optical activity. Proc. Royal Soc. A150, 84-105.
- Born M. og E. Wolf (1999) Principles of Optics, 7. útg. Cambridge University Press, Cambridge, 952 bls. Fyrsta útgáfa kom 1959.
- Borodin J. (1883) Über krystallinische Nebenpigmente des Chlorophylls. Bull. Acad. Impér. Sci. St.-Pét. 28, 328-350. Útdráttur úr annarri grein er í Bot. Ztg. 40, 608-610, 1882.
- Borrmann G. (1950) Die Absorption von Röntgenstrahlen im Fall der Interferenz. Zeitschr. Phys. 127, 297-323. Sjá einnig grein hans í Naturwissensch. 38, 330, 1951.
- Borrmann G. (1988) Aus Kossels Laboratorium, Danzig 1932-38. Naturwissensch. 75, 399-404.
- Bosanquet R.H.M. (1876) On a new form of polariscope, and its application to the observation of the sky. Phil. Mag. 2, 20-28. Endurbót á tæki Savarts, en lítið notað.
- Bouasse H. (1925) Optique Cristalline. Double Réfraction. Polarisation Rectiligne et Elliptique. Delagrave, Paris, 482 bls.
- Bouchardat A. (1841) Sur la diabète sucré ou glucosurie. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 13, 942-952.
- Bouchardat A. (1842) Sur la composition immédiate de la fibrine; sur le gluten, l'albumine, le caséum. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 14, 962-967.
- Bouchardat A. (1843, 1844) Sur les propriétés optiques des alcalis végétaux. Ann. Chim. 9, 213-246. Sur les propriétés optiques de la salicine, la phloridzine et du cnisin. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 18, 298-302. Sur les propriétés optiques de l'amygdaline, de l'acide amygdalique, etc. 19, 1174-1180.
- Bouchardat A. og F. Boudet (1853) Note sur les pouvoirs rotatoires de la quinidine, de la codéine, de la narcéine, de la papavérine et de la picrotoxine. J. Pharm. 23, 288-294.
- Bouchardat A. og -. Sandras (1845) Des fonctions du pancréas et de son influence dans la digestion des féculents. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 20, 1085-1091.
- Bouhet C. og R. Lafont (1945) Emploi du nitrate de sodium dans la construction de polariseurs à champ normal. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 221, 75-76. Sjá einnig B.K. Johnson í Proc. Phys. Soc. 55, 291-300, 1943.
- Bouhet C. og R. Lafont (1949) Nouveaux polariseurs a champ normal. Revue d'Optique 28, 490-493.
- Bournon J.-L. de (1808) Traité Complet de la Chaux Carbonatée et de l'Arragonite I-III, London.
- Boussinesq J. (1867) Théorie nouvelle des ondes lumineuses. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 65, 235-239. Meira í Liouville J. Mathém. 13, 209-241, 313-339, 340-371, 1868.

- Boutaric A. (1916) L'industrie française des instruments d'optique et ses perspectives d'avenir. *Rev. Gén. Sci.* 27, 298-306, 331-337.
- Bowen N.L. (1926) Properties of ammonium nitrate I-III. *J. Phys. Chem.* 30, 721-737.
- Bowles O. (1920) Iceland spar. U.S. Bureau of Mines Reports of Investigations 2238, 6 bls. Yfirlit um eiginleika, notkun og vinnslustaði silfurbergs.
- Brace D.B. (1903) A sensitive-strip spectropolariscope. *Phil. Mag.* 5, 161-170.
- Brace D.B. (1904a) A half-shade elliptical polarizer and compensator. *Phys. Rev.* 18, 70-88, framhald um mæliskekkiur í 19, 218-230.
- Brace D.B. (1904b) On double refraction in matter moving through the aether. *Phil. Mag.* 7, 317-329. Einnig í *L. Boltzmann Festschrift*, 576-584.
- Brace D.B. (1905a,b,c) The negative results of second and third order tests of the „aether drift“, and possible first order methods. *Phil. Mag.* 10, 71-80. The aether „drift“ and rotatory polarization, 383-396. A repetition of Fizeau's experiment on the change produced by the Earth's motion on the rotation of a refracted ray, 591-599.
- Bragg W.H. (1915) X-rays and crystal structure. *Phil. Trans. Royal Soc.* A215, 253-274.
- Bragg W.L. (1913) The structure of some crystals as indicated by their diffraction of X-rays. *Proc. Royal Soc.* A89, 248-277. Sjá einnig í *Proc. Cambr. Philos. Soc.* 17, 43- .
- Bragg W.L. (1914) The analysis of crystals by the X-ray spectrometer. *Proc. Royal Soc.* A89, 468-489.
- Bragg W.L. (1924) The refractive indices of calcite and aragonite. *Proc. Royal Soc.* A105, 370-386 (endursagt í bók Hartshorne og Stuart 1950, bls. 143-149). The influence of atomic arrangement on refractive index, A106, 346-368.
- Bragg W.L. og S. Chapman (1924) A theoretical calculation of the rhombohedral angle of crystals of the calcite type. *Proc. Royal Soc.* A106, 369-377. Framhald eftir S.C. o.fl. í A111, 25-56, 1926 og J.E. Lennard-Jones og B.M. Dent í A113, 673-689, 1927.
- Branly É. (1882) Dosage de l'hémoglobine dans le sang par les procédés optiques. *Ann. Chim.* 27, 238-273, útdráttur í *J. Pharm.* 7, 144-146, 1883.
- Brauns R. (1903) *Das Mineralreich*. F. Lehmann, Stuttgart, 440 bls.
- Bravais A. (1855) Description d'un nouveau polariscope, et recherches sur les doubles réfractions peu énergiques. *Ann. Chim.* 43, 129-149, þýðing í *Ann. Phys.* 96, 395-414. Stutt kynning í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 32, 112-116, 1851. Bravais-platan sem þarna var lýst, var endurbætt af D.B. Brace 1904a, sjá Skinner 1923.
- Bréon R. (1882) Rapport sur une mission en Islande. *Arch. Miss. Sci. Litt.* 8, 101-118.
- Brewster D. (1813a) *A Treatise on New Philosophical Instruments for Various Purposes in the Arts and Sciences*. Edinborg og London, 442 bls.
- Brewster D. (1813b) On some properties of light. *Phil. Trans. Royal Soc.* 103, 101-109.
- Brewster D. (1814) Results of some recent experiments on the properties impressed upon light by the action of glass raised to different temperatures, and cooled under different circumstances. *Phil. Trans. Royal Soc.* 104, 436-439. Framhald í 105, 1-8, 1815.
- Brewster D. (1815a) On the laws which regulate the polarisation of light by reflexion from transparent bodies. *Phil. Trans. Royal Soc.* 105, 125-159.
- Brewster D. (1815b) On the multiplication of images, and the colours which accompany them in some specimens of calcareous spar. *Phil. Trans. Royal Soc.* 105, 270-292.
- Brewster D. (1815c) On the effects of simple pressure in producing that species of crystallization which forms two oppositely polarised images, and exhibits the complimentary colours by polarised light. *Phil. Trans. Royal Soc.* 105, 60-64.
- Brewster D. (1816a) On the communication of the structure of doubly-refracting crystals to glass, muriate of soda, fluor spar and other substances by mechanical compression and dilatation. *Phil. Trans. Royal Soc.* 106, 157-178.
- Brewster D. (1816b) On the structure of the crystalline lens in fishes and quadrupeds, as ascertained by its action on polarised light. *Phil. Trans. Royal Soc.* 106, 311-317. Meira um þetta frá honum í 127, 253-258, 1837.

- Brewster D. (1818a) On a new optical and mineralogical property of calcareous spar. *Trans. Royal Soc. Edinb.* 8, 165-169. Um litafyrirbrigði.
- Brewster D. (1818b) On the laws of polarisation and double refraction in regularly crystallized bodies. *Phil. Trans. Royal Soc.* 108, 199-273.
- Brewster D. (1819) On the action of crystallized surfaces upon light. *Phil. Trans. Royal Soc.* 109, 145-160. Nánar um silfurberg í *Trans. Royal Soc. Edinb.* 24, 233-246, 1866.
- Brewster D. (1819-20) On the connection between the primitive forms of crystals, and the number of their axes of double refraction. *Mem. Wernerian Nat. Hist. Soc.* 3, 50-74 og 337-350, þýðing í *Ann. Phys.* 69, 1-29, 1821.
- Brewster D. (1820) On the absorption of polarised light in double refracting crystals. *Edinb. Philos. J.* 2, 341-348. Viðbót í 3, 243-247. Þýðing í *Ann. Phys.* 65, 4-19.
- Brewster D. (1822-23) Account of the experiments of Mr. Benjamin Martin. *Edinb. Philos. J.* 8, 150-160, 245-257. Þetta er bæklingur Martins (1774), með inngangi D.B.
- Brewster D. (1823) Historical account of discoveries respecting the double refraction and polarisation of light. Sect. IV.- Account of the experiments of Abbé Hauy. *Edinb. Philos. J.* 9, 148-152.
- Brewster D. (1830) On the phenomena and laws of elliptic polarization, as exhibited in the action of metals upon light. *Phil. Trans. Royal Soc.* 120, 287-326. Þýð. í *Ann. Phys.*
- Brewster D. (1841) On the compensations of polarised light, with the description of a polarimeter for measuring degrees of polarisation. *Proc. Royal Soc.* 4, 306-307, nánar í *Trans. Irish Acad.* 19, 377-392, 1843.
- Brewster D. (1842) On the existence of a new neutral point and two secondary neutral points. *British Assoc. Report* 12, pt. ii, 13. Sjá einnig bréfaskriftir milli Brewsters og Babinets í *C.R.* 20, 801-804, 1845.
- Brewster D. (1843) Notice of an experiment on the ordinary refraction of Iceland Spar. *British Assoc. Report* 13, pt. ii, 7 (með athugasemd frá J. MacCullagh, 7-8; sjá einnig grein J.M. um tvöfalt ljósbrot í *Phil. Mag.* 21, 407-409, 1842).
- Brewster D. (1848a,b) On the distinctness of vision produced in certain cases by the use of the polarizing apparatus in microscopes. *Phil. Mag.* 32, 161-165. On the phenomenon of luminous rings in calcareous spar and beryl, as produced by tubular cavities containing the two new fluids. 33, 489-493.
- Brewster D. (1860) Observations sur un point de l'histoire de l'optique. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 51, 425-429.
- Brezina A. (1867) Ueber eine neue Modification des Kobell'schen Stauros-kops und des Nörremberg'schen Polarisationsmikroskops. *Ann. Phys.* 128, 446-452 og 130, 141-143. Endurbót Brezinas fölst einkum í að bæta sérsniðinni silfurbergsplötu inn í ljósganginn.
- Brezina A. (1880) Ueber künstliche Kalkspathzwillinge. *Zeitschr. Krystallogr.* 4, 518-519, endursögn úr *Verhandlungen der Geol. Reichsanstalt in Wien.*
- Brill R. (1962) Von optischen Arbeiten M. v. Laues im sichtbaren und besonders im Röntgen-Gebiet. *Naturwissensch.* 49, 25-27.
- Briot C. (1867) Sur la réflexion et la réfraction cristallines. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 64, 956-960. Sjá einnig 49, 888-892, 1859.
- Broch O.J. (1842) Om lovene for lysets forplantelse i isophane og eenaxig krystaliserede media. *Skandin. Naturf. Forhandl.* 3, 283-302. Meira í *Nyt Magasin f. Naturvidensk.* 5, 49-88, 89-170, 215-252, 1848.
- Broch O.J. (1846) Besondere Gesetze der Wellenbewegung. *Dove's Repert. Phys.* 7, 113-119. Útdráttur: Détermination du pouvoir rotatoire moléculaire du quartz, par une méthode applicable à tous les phénomènes chromatiques. *Ann. Chim.* 34, 119-121, 1852.
- Brodhun E. (1888) Ueber das Leukoskop. *Ann. Phys.* 34, 897-918. Sjá Priest 1920.
- Brodhun E. (1913) Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt. Fünfundzwanzig Jahre ihrer Tätigkeit. 4. Optik. *Naturwissensch.* 1, 321-325.
- Brougham H. (1796) Experiments on the inflection, reflection and colours of light. *Phil. Trans. Royal Soc.* 86, 227-277 (bls. 725-752 í styttri útgáfu eldri árg. timaritins 1809).

- Brougham H. (1797) Further experiments and observations on the affections and properties of light. *Phil. Trans. Royal Soc.* 87, 196-213.
- Brougham H. (1803a) [Nafnlausar skammagreinar um greinar T. Youngs í *Phil. Trans.* 1802] The Bakerian lecture on light and colours og An account of some cases of the production of colors. *Edinburgh Review* 1, 450-460. Meiri skammir komu svo í 5, 97-102, 1804 um enn eina grein Youngs um sama efni.
- Brougham H. (1803b) [Nafnlaus umsögn um greinar W.H. Wollastons í *Phil. Trans.* 1802] A method of examining... og On the oblique refraction of Iceland crystal. *Edinburgh Review* 2, 97-99.
- Brown A.J. (1902) Enzyme action. *J. Chem. Soc.* 81, 373-388.
- Brown F.C. (1914) The crystal forms of metallic selenium and some of their physical properties. *Phys. Rev.* 4, 85-98. Meira m.a. 507-516 og í 5, 404-411, 1915.
- Brown F.L. og J.W. Beams jr. (1925) The order of appearance of certain lines in the spark spectra of cadmium and magnesium. *J. Opt. Soc. Am.* 11, 11-15.
- Browne C.A. (1912) *Handbook of Sugar Analysis*, fyrsta útgáfa með leiðréttingum. Wiley, New York, 787 + 101 + lxxxi bls.
- Browne C.A. (1918) The polariscope situation and the need of an international saccharimetric scale. *J. Ind. Eng. Chem.* 10, 916-918, sjá einnig Stanley 1919.
- Brücke E. (1848) Ueber die Aufeinanderfolge der Farben in den Newton'schen Ringen. *Ann. Phys.* 74, 582-586. Framhald m.a. um liti í skautuðu ljósi í 88, 363-385, 1853.
- Brücke E. (1858) Untersuchungen über den Bau der Muskelfasern mit Hülfe des polarisirten Lichtes. *Denkschr. Akad. Wiss. Wien* 15, 69-84.
- Brücke E. (1866) *Die Physiologie der Farben*. S. Hirzel, Leipzig, 298 bls.
- Bruhat G. (1930) *Traité de Polarimétrie*. Revue d'Optique, Paris, 447 bls.
- Bruhat G. (1942) *Cours d'Optique*, 3. útg. Masson et Cie, París, 776 bls.
- Bruhat G. og P. Chatelain (1933) Essais de polarimétrie photoélectrique. *Revue d'Optique* 12, 1-20. Framhald eftir G.B. og A. Guinier er á bls. 396-416.
- Bruhat G. og M. Pauthenier (1927) Le problème de l'analyse d'une vibration rectiligne ultraviolette. *Revue d'Optique* 6, 163-184. Útdráttur í *C.R.* 182, 888-891, 1926.
- Bruhl-Metzger H. (1914) Une théorie de la double réfraction chez Buffon. *Bull. Soc. Fr. Minéral.* 37, 162-176.
- Brunhes B. (1893) Étude expérimentale sur la réflexion cristalline interne. *Ann. Chim.* 30, 98-141, 145-245.
- Brunhes B. (1900) Une méthode de mesure de la vitesse des rayons Röntgen. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 130, 127-130. Sjá einnig *Rev. Gén. Sci.* 12, 344-345, 1901.
- Bruyn C.A. Lobry de og W.A. van Ekenstein (1895) Einwirkung von Alkalien auf Kohlehydrate. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 28, 3078-3082. Mun ítarlegra í *Rec. Trav. Chim. Pays-Bas* á árunum 1895-1900.
- Buchwald J.Z. (1980) Experimental investigations of double refraction from Huygens to Malus. *Arch. Hist. Exact Sci.* 21, 311-373.
- Buchwald J.Z. (1989) *The Rise of the Wave Theory of Light. Optical Theory and Experiment in the Early Nineteenth Century*. University of Chicago Press, Chicago, 474 bls.
- Buchwald J.Z. og K. Möller Pedersen (1991) Experiments on Birefringent Icelandic Crystal. Formáli fyrir ljósprentun af riti Rasmusar Bartholins frá 1669 ásamt enskri þýðingu T. Archibalds á því. *Acta Hist. Sci. Nat. Med. (Ritröð bókasafns Kaupmannahafnarháskóla)* 40, 63 + 60 bls.
- Budker D., W. Gawlik, D.F. Kimball, S.M. Rochester, V.V. Yaschuk og A. Weis (2002) Resonant nonlinear magneto-optical effects in atoms. *Revs. Mod. Phys.* 74, 1153-1201.
- Buffon G.L.L. de (1786) Du spath appelé cristal d'Islande. *Kafla í Histoire Naturelle des Minéraux*, t. 4. Imprimerie Royale, París, 113-122.
- Buignet H. (1861) Application de la physique à la solution de quelques problèmes de chimie et de pharmacie. III. Pouvoir rotatoire. *J. Pharm.* 40, 252-276.

- Bunsen R.W. (1849) On the colour of water. *Edinb. New Philos. J.* 47, 95-98.
- Burgess G.K. og H. Le Chatelier (1912) *The Measurement of High Temperatures*, 3. útg. J. Wiley, New York, 510 bls.
- Busch F. og C. Jensen (1911) Tatsachen und Theorien der atmosphärischen Polarisation nebst Anleitung zu Beobachtungen verschiedener Art. 5. Beiheft zum Jahrbuch der Hamburgischen Wissenschaftlichen Anstalten 28, 1910, 532 bls.
- Butterfield E.E. (1909) Über die Lichtextinktion, das Gasbindungsvermögen und den Eisengehalt des menschlichen Blutfarbstoffs in normalen und krankhaften Zuständen. *Zeitschr. Physiol. Chemie* 62, 173-225.
- Bäckström H.L.J. (1925) The thermodynamic properties of calcite and aragonite. *J. Am. Chem. Soc.* 47, 2432-2442, meira um varmafræðina 2443-2449.
- Cabannes J. (1915) Sur la diffusion de la lumière par l'air. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 160, 62-63. Framhald í 168, 340-343, 1919.
- Cabannes J. (1921) Sur la diffusion de la lumière par les molécules des gaz transparents. *Ann. de Phys.* 15, 5-149.
- Cabannes J. (1922) Polarisation et intensité de la lumière diffusée par les liquides transparents. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 175, 875-877. Sjá einnig grein hans í *J. Phys. Radium* 1, 129-142, 1920.
- Cabannes J. (1929a) Polarisation of Raman radiations in liquids and crystals. *Trans. Faraday Soc.* 25, 813-820; um kvars í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 188, 249-250.
- Cabannes J. (1929b) Les radiations secondaires dans la lumière diffusé par le spath calcaire. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 188, 1041-1043. Meira í 193, 156-158, 1931.
- Cajori F.A. (1922) The use of iodine in the determination of glucose, fructose, sucrose, and maltose. *J. Biol. Chem.* 54, 617-624.
- Calderón L. (1878) Ueber einige Modificationen des Groth'schen Universalapparats und über eine neue Stauroskopvorrichtung. *Zeitschr. Krystallogr.* 2, 68-73.
- Caldwell R.J. (1906) The hydrolysis of sugars. *British Assoc. Report* 76, 267-292.
- Camichel C. (1895) Étude expérimentale sur l'absorption de la lumière par les cristaux. *Ann. Chim.* 5, 433-493.
- Camichel C. (1905) Recherches expérimentales sur la fluorescence. *Ann. Fac. Sci. Toulouse* 7, 417-442. Útdráttur í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 140, 139-141.
- Camichel C. og P. Bayrac (1901) Nouvelle méthode permettant de caractériser les matières colorantes. Application aux indophénols. *Ann. Fac. Sci. Toulouse* 3, 433-456.
- Carpenter R.O'B. (1953) Electro-optic sound-on-film modulator. *J. Acoust. Soc. Am.* 25, 1145-1148.
- Carus-Wilson C. (1891) On the influence of surface loading on the flexure of beams. *Phil. Mag.* 32, 481-503.
- Carvalho E. (1890) Influence du terme de dispersion de Briot sur les lois de la double réfraction. *Ann. École Normale* 7 (Suppl.), 3-123.
- Carvalho E. (1892) Sur la polarisation rotatoire du quartz. *Ann. Chim.* 26, 113-144.
- Carvalho E. (1900) Sur la dispersion exceptionnelle du spath d'Islande. *J. Phys.* 9, 465-479. Mælingar á útfjölbláu ljósi, og samanburður við formúlur. Mælingar á innrauðu ljósi eru í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 126, 950-953, 1898.
- Cauchy A. (1813) Recherches sur les polyèdres. *J. École Polyt.* 9, 68-86.
- Cauchy A. (1823) Recherches sur l'équilibre et le mouvement intérieur des corps solides, ou fluides élastiques ou non élastiques, ritgerð lögð fram í Akademiunni 1822 (sjá Timoshenko 1953). Útdráttur í *Bull. Soc. Philom.* 1823, 9-13.
- Cauchy A. (1828) Sur l'équilibre et le mouvement d'un système de points matériels sollicités par les forces d'attraction ou de répulsion mutuelle. *Exercices de Mathématiques* 3, 188- , tilvitnað af Timoshenko 1953. Endurprentað í *Oeuvres Complètes*, sér. 2, t. VIII, 227-252, 1890.
- Cauchy A. (1831) Mémoire sur la théorie de la lumière. *Mém. de l'Institut* 10, 293-316. Sjá einnig í 9, 114-116, 1830. Fyrsta ljós-kenning Cauchys.

- Cauchy A. (1836) Notes sur l'optique, adressées à M. Libri. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 2, 341-349.
- Cauchy A. (1839a) Mémoire sur la polarisation rectiligne et la double réfraction. *Mém. Acad. Royale Sci.* 18, 153-216 (birt 1842).
- Cauchy A. (1839b) Note sur la quantité de la lumière réfléchiée sous les diverses incidences par les surfaces des corps opaques et spécialement des métaux. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 8, 553-561, viðbót um skautun 658-659.
- Cauchy A. (1849) Démonstration simple de cette proposition que, dans un rayon de lumière polarisé rectilignement, les vibrations des molécules sont perpendiculaires au plan de polarisation. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 29, 645.
- Cauchy A. (1850a) Mémoire sur la propagation de la lumière dans les milieux isophanes. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 30, 33-41. Meira m.a. um ógegnæ efni, 465-467.
- Cauchy A. (1850b) Sur les rayons réfléchis et réfractés par la surface d'un corps transparent. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 31, 160-166, 225-232. Meira um endurkast frá kristöllum o.fl.: 257-262, 297-306, 338-342, 532-533, 666-667, 766.
- Cesaro G. (1889) Note sur la vitesse d'attaque du marbre et du spath d'Islande par quelques acides. *Ann. Soc. Géol. Belg.* 15, 219-268 og *Ann. Chim.* 17, 5-36, 37-52.
- Cesaro G. (1890) Production mécanique des faces e1 et d1 dans le spath d'Islande. *Bull. Soc. Minéral. Fr.* 13, 192-199.
- Challenger F. og F.S. Kipping (1910) Organic derivatives of silicon. Part XIII. Optically active compounds containing one asymmetric silicon group. *J. Chem. Soc. Trans.* 97, 755-773.
- Challis J. (1847) A theory of luminous rays on the hypothesis of undulations. *Trans. Cambr. Philos. Soc.* 8, 363-370. Framhald um tvöfalt ljósbrot o.fl. 371-378, 524-532 og 584-594, 1849.
- Challis J. (1863) The theory of double refraction on the undulatory hypothesis of light. *Phil. Mag.* 26, 466-483, 1863. Sjá einnig 24, 462-474, 1862.
- Chamot E.M. (1915) *Elementary Chemical Microscopy*. J. Wiley, New York, 410 bls.
- Chardonnet -. de (1881) Sur l'absorption des rayons ultra-violetts par quelques milieux. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 93, 406-408.
- Charpy G. (1896) Appareils pour l'examen microscopique des corps opaques. *Rev. Gén.* 7, 1260-1262.
- Chaumont L. (1915) Recherches expérimentales sur le phénomène électro-optique de Kerr et sur les méthodes servant à l'étude de la lumière polarisée elliptiquement. *Ann. de Phys.* 4, 61-206.
- Chautard J. (1863) Nouvelles études sur le camphre gauche de matricaire et sur les huiles essentielles, au point de vue de la production du camphre. *J. Pharm.* 44, 13-33.
- Chauvin -. (1889) Recherches sur la polarisation rotatoire magnétique dans le spath d'Islande. *Ann. Fac. Sci. Toulouse* 3(J), 49 bls. Útdráttur í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 108, 1097-1100.
- Cheshire F.J. (1906-07) Some new optical projection apparatus. *Trans. Opt. Soc.* 9, 154-166.
- Cheshire F.J. (1923) The President's Address: The early history of the polariscope and the polarizing microscope. *J. Royal Microsc. Soc.* 43, 1-18.
- Chevalier S. (1906) Hélioscope polariseur. *Bull. Astron.* 23, 359-361.
- Chevallier-Baudrimont (1882) *Dictionnaire des Altérations et Falsifications des Substances Alimentaires, Médicamenteuses et Commerciales, avec l'Indication des Moyens de les Reconnaître*, 6. útg. Asselin & Cie, Paris, 1501 bls.
- Christie H. (1864) *Lærebog i Fysik*. P.T. Malling, Christiania, 387+298 bls.
- Clark H.A. (1906) Optical properties of carbon films. *Phys. Rev.* 23, 422-443.
- Clausius R. (1847) Über die Lichtzerstreuung in der Atmosphäre und über die Intensität des durch die Atmosphäre reflektierten Sonnenlichtes. *Ann. Phys.* 72, 294-314.
- Clerget T. (1846) Analyse des sucres. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 23, 256-260. Stutt grein um mikilvægi polarimeter-mælinga fyrir sykuriðnaðinn er í 16, 1000-1001, 1843.

- Clerget T. (1849) Analyse des substances saccharifères au moyen des propriétés optiques de leurs dissolutions et l'évaluation de leur rendement industriel. *Ann. Chim.* 26, 175-207.
- Coetzee C.B., ritstj. (1976) Mineral Resources of the Republic of South Africa. 5. útg. Kafli um Iceland spar á bls. 375 er eftir A.J.M. Brabers. Handbook 7, Geological Survey, Department of Mines, Pretoria, 462 bls.
- Coker E.G. (1910) The optical determination of stress. *Phil. Mag.* 20, 740-751.
- Coker E.G. (1912) The application of optical methods to technical problems of stress distribution. *Nature* 90, 383-386.
- Coker E.G. (1916) Polarized light and its applications to engineering. *Proc. Royal Inst.* 21, 573-599. Sjá Coker og Filon 1931 um fleiri greinar eftir Coker og samstarfsmenn.
- Coker E.G. og S.P. Thompson (1912) The design and construction of large polariscopes. *Engineering* 94, 134-135.
- Coker E.G. og L.N.G. Filon (1931) A Treatise on Photo-elasticity. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 720 bls.
- Collett E. (1993) Polarized Light. M. Dekker, New York, 581 bls.
- Compan P. (1899) Transmission de la lumière par les milieux troubles. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 128, 1226-1229.
- Compton A.H. (1916) A recording X-ray spectrometer, and the high frequency spectrum of tungsten. *Phys. Rev.* 7, 646-659.
- Compton A.H. (1918) Note on the grating space of calcite and the X-ray spectrum of gallium. *Phys. Rev.* 11, 430-432.
- Compton A.H. (1923) The spectrum of scattered X-rays. *Phys. Rev.* 22, 409-413. Sjá einnig t.d. grein eftir hann og Y.H. Woo í *Proc. Nat. Acad. Sci.* 10, 271-273, 1924.
- Compton A.H. (1931) A precision X-ray spectrometer and the wave length of Mo $K\alpha_1$. *Rev. Sci. Instr.* 2, 365-376.
- Compton A.H., H.N. Beets og O.K. DeFoe (1925) The grating space of calcite and rock salt. *Phys. Rev.* 25, 625-629.
- Conroy J. (1886) On the polarisation of light by reflection from the surface of a crystal of Iceland spar. *Proc. Royal Soc.* 40, 173-191.
- Cooksey C.D. og D. Cooksey (1930) Precision measurements of the glancing angle of reflection from calcite for silver ($K\alpha_1$) X-rays. *Phys. Rev.* 36, 85-109.
- Copeland R. (1900) Preliminary note on observations of the total solar eclipse of 1900 May 28, made at Santa Pola (Casa del Pleito), Spain. *Monthly Not. Royal Astr. Soc.* 60, 385-391.
- Cornu A. (1866) Théorie nouvelle de la réflexion cristalline d'après les idées de Fresnel. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 63, 1058-1061.
- Cornu A. (1867) Recherches sur la réflexion cristalline. *Ann. Chim.* 11, 283-389.
- Cornu A. (1870) Appareil destiné aux mesures des pouvoirs rotatoires. *Bull. Soc. Chim.* 14, 140-142, einnig í *J. Pharm.* 12, 345-348.
- Cornu A. (1872, 1874a) De la réfraction à travers un prisme suivant une loi quelconque. *Ann. École Normale* 1, 231-272 og 3, 1-46.
- Cornu A. (1874b) Sur le spectre normal du soleil, partie ultra-violette. *Ann. École Normale* 3, 421-434 og 9, 21-106. Meira m.a. um áhrif lofthjúps jarðar á þessa geislun kom í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 88, 1101-1108, 1285-1290, 1879 sem og í 89, 808-814 og 90, 940-946, 1880.
- Cornu A. (1878) Étude du spectre solaire ultra-violet. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 86, 101-104.
- Cornu A. (1879) Spectroscope destiné à l'observation des radiations ultra-violettes. *J. Phys.* 8, 185-193.
- Cornu A. (1882, 1890) Sur un nouveau photopolarimètre. *C.R. Assoc. Fr.* 11, 253-255. Um endurkastað ljós sem mæla má með þessu tæki, sjá 221-223. Sur l'application du photopolarimètre à la météorologie. 19 (pt. 2), 267-270. Tækið var í notkun við margskonar rannsóknir fram yfir 1930, sjá t.d. Perrin 1929 og *C.R.* 192, 1011, 1931, og síðar hannaði E.O. Hulburt tæki í svipuðum tilgangi (bandarískt einkaleyfi no. 1,976,728 veitt 1934).

- Cornu A. (1884) Sur les coefficients d'absorption de l'atmosphère pour les rayons ultra-violetes et l'influence probable de l'ozone sur la variation de ces coefficients. C.R. Assoc. Fr. 13 (pt. 2) 103-112. Sjá greinar W.N. Hartleys 1881.
- Cornu A. (1886) Sur le spectre ultra-violet de l'hydrogène. J. Phys. 5, 341-354.
- Coster D. (1921) Präzisionsmessungen in der L-Serie der schwereren Elemente. Zeitschr. Phys. 4, 178-188.
- Cotton A. (1895a,b) Absorption inégale des rayons circulaires droit et gauche dans certains corps actifs. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 120, 989-991. Dispersion rotatoire anormale des corps absorbants, 1044-1046.
- Cotton A. (1896) Recherches sur l'absorption et la dispersion de la lumière par les milieux doués du pouvoir rotatoire. Ann. Chim. 8, 347-432.
- Cotton A. (1899) The present status of Kirchoff's law. Astrophys. J. 9, 237-268, þýtt úr Rev. Gén. Sci.
- Cotton A. (1914) Pourquoi faut-il construire un très gros électro-aimant? Rev. Sci. 52, 513-519.
- Cotton A. (1931) Prismes polariseurs à champ normal fondés sur la réflexion cristalline interne. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 192, 268-271.
- Cotton A. og P. Manigault (1946) Microscopes polarisants utilisant la réflexion vitreuse. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 222, 345-348.
- Cotton A. og H. Mouton (1903) Les objets ultramicroscopiques. Rev. Gén. Sci. 14, 1184-1193. Bók eftir þá um þetta málefni kom út 1906.
- Cotton A. og H. Mouton (1905) Sur le phénomène de Majorana. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 141, 317-319. Sur le biréfringence magnétique, 349-351. Framhald í 142.
- Cotton A. og H. Mouton (1907a) Sur les propriétés magnéto-optiques des colloïdes et des liqueurs hétérogènes. Ann. Chim. 11, 145-203 og 289-339.
- Cotton A. og H. Mouton (1907b) Nouvelle propriété optique (biréfringence magnétique) de certains liquides organiques non colloïdaux. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 145, 229-230 og (með P. Weiss) 870-872. Nánar í Ann. Chim. 19, 153-186 og 20, 194-275, 1910.
- Cotton A. og H. Mouton (1913) Biréfringence magnétique et constitution chimique. Ann. Chim. 28, 209-243, sjá einnig C.R. 154, 818-821 og 930-933, 1912.
- Credner H. (1870) Ueber gewisse Ursachen der Krystallverschiedenheiten des kohlen-sauren Kalkes. J. Prakt. Chemie 110, 292-318.
- Crehore A.C. og G.O. Squier (1895) Experiments with a new polarizing photo-chronograph as applied to the measurement of the velocity of projectiles. Phys. Rev. 3, 63-70, og sjá 2, 122-137, 1894. Bandarískt einkaleyfi no. 548,700 var veitt A.C.C. 1895. Umfjöllun með mynd er í La Nature 26(I), 97-99, 1898. Þessi tegund af sveiflusjá var svo endur-uppfundin af S. Smith í grein í Astrophys. J. 68, 165-168, 1928.
- Crevelde S. van (1923) Some experiments and remarks on the possible transformation of d-glucose in the intestine and on the nature of blood-sugar. Biochem. J. 17, 860-871.
- Crookes W. (1868) On the measurement of the luminous intensity of light. Proc. Royal Soc. 17, 358-370.
- Crova A. (1878) Étude spectrométrique de quelques sources lumineuses. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 87, 322-325, framhald um háhitageislun 979-981.
- Crova A. (1880) Étude des radiations émises par les corps incandescents. Mesure optique des hautes températures. Ann. Chim. 19, 472-550. Sjá einnig Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 90, 252-254.
- Crova A. (1881) Comparaison photométrique des sources lumineuses de teintes différentes. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 93, 512-513, framhald 959-961. Sjá einnig grein hans um sama efni í Ann. Chim. 6, 528-545, 1885.
- Crova A. (1883) Description d'un spectrophotomètre. Ann. Chim. 29, 550-573. Um endurbætur á mælimum, sjá W. Zenker í Zeitschr. Instrumentenk. 4, 83-87, 1884.
- Crova A. (1890) Sur l'analyse de la lumière bleue diffusée par le ciel. Ann. Chim. 20, 480-504. Frekari athuganir eru í 25, 534-567, 1892.
- Crova A. og H. Lagarde (1881) Détermination du pouvoir éclairant des radiations simples. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 93, 959-961.

- Crova A. og F. Houdaille (1890) Observations faites au sommet du mont Ventoux sur l'intensité calorifique de la radiation solaire. *Ann. Chim.* 21, 188-205.
- Curie J. (1889) Recherches sur le pouvoir inducteur spécifique et la conductibilité des corps cristallisés. *Ann. Chim.* 17, 385-434, framhald um raffleiðni í 18, 203-269.
- Curie J. og P. (1880) Développement par compression de l'électricité polaire dans les cristaux hémiedres à faces inclinées. *Bull. Soc. Minéral. Fr.* 3, 90-93.
- Currie J.N. (1911) A study of the optical forms of lactic acid produced by pure cultures of *Bacillus bulgaricus*. *J. Biol. Chem.* 10, 201-211.
- Cuvier G. (1829) Éloge historique de M. Haüy. *Mém. Acad. Sci. Fr.* 8, clxiv-clxxviii. Flutt 1823. Endursagt í *Edinb. J. Sci.* 4, 1826.
- Czapski S. (1891a,b) Mikroskope der optischen Werkstätte von Carl Zeiss in Jena für krystallographische und petrographische Untersuchungen. *N. Jahrb. Mineral. Beilage* 7, 497-505. Einnig í *Zeitschr. Instrumentenk.* 11. Krystalrefractometer nach Abbe. 175-200.
- Czapski S. (1891c) Über die Doppelbrechung schnell gekühlter Glasplatten. *Ann. Phys.* 42, 319-331.
- Czerny M. (1924) Über die Strahlungsemission des Platins. *Zeitschr. Phys.* 26, 182-187.
- Dahlander G.R. (1902) *Lärobok i Fysik*, 2. útg. A. Bonniers Forlag, Stockholm, 902 bls.
- Dammer B. og O. Tietze (1913) *Die Nutzbaren Mineralien. I. Band.* F. Enke Verlag, Stuttgart, 501 bls. Um kalkspat einkum bls. 384-389.
- Danjon A. (1926) Description et usage d'un microphotomètre différentiel. *Revue d'Optique* 5, 55-62.
- Danker J. (1886) Experimentelle Prüfung der aus den Fresnel'schen Gesetzen der Doppelbrechung abgeleiteten Gesetze der Totalreflexion. *N. Jahrb. Mineral. Beilage* 4, 241-290. Sjá umfjöllun eftir T. Liebisch í 1886(2), 47-66.
- Daresté C. (1871) Recherches sur l'amidon animal. *Comptes Rendus Acad. Sci.* 72, 845-848. Sjá einnig A. Dastre og J.P. Morat: De la nature chimique des corps qui, dans l'organisme, présentent la croix de polarisation, í 79, 1081-1083, 1874.
- Darmon E. (1911) Recherches sur la polarisation rotatoire naturelle et la polarisation rotatoire magnétique. *Ann. Chim.* 22, 247-281, 495-590.
- Darmon E. (1922) La dispersion rotatoire naturelle. *Rev. Gén. Sci.* 33, 670-677, 710-716.
- Daumas M. (1987) *Arago. La Jeunesse de la Science*, 2. útg. Belin, Paris, 303 bls.
- Davies H.G., M.H.F. Wilkins, J. Chayen og L.F. La Cour (1954) The use of the interference microscope to determine dry mass in living cells and as a quantitative cytochemical method. *Quart. J. Microsc. Sci.* 95, 271-304.
- Davis B. og C.M. Slack (1926) Measurement of the refraction of X-rays in a prism by means of the double X-ray spectrometer. *Phys. Rev.* 27, 18-22.
- Davis B. og W.M. Stempel (1921) An experimental study of the reflection of X-rays from calcite. *Phys. Rev.* 17, 608-623.
- Davis B. og H.M. Terrill (1922) The refraction of X-rays in calcite. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 8, 357-361.
- Debye P. (1944) Light scattering in solutions. *J. Appl. Phys.* 15, 338-342.
- Debye P. (1947) Molecular-weight determination by light scattering. *J. Phys. Chem.* 51, 18-32.
- Dehn W.M. og F.A. Hartman (1914) The picrate colorimetric method for the estimation of carbohydrates. *J. Am. Chem. Soc.* 36, 403-409.
- Delanghe G. (1928) La photo-élasticimétrie. Théorie, méthodes et applications. *Revue d'Optique* 7, 237-265, 285-313.
- De la Rive A. (1871) Recherches sur la polarisation rotatoire magnétique des liquides. *Ann. Chim.* 22, 5-48.
- Dember H. og M. Uibe (1918) Über die spektrale Polarisation des diffusen Sonnenlichts in der Erdatmosphäre. *Ann. Phys.* 56, 208-224.

- Desains P. (1862) Description et discussion de quelques expériences de double réfraction. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 54, 457-459. Skv. grein eftir L. Lévy í C.R. 97, 1296-1298, 1883 virðist þó aðferðin sem þarna var stungið upp á til að mæla brotstuðla einása kristalla, lítt hafa verið prófuð. Sjá Provostaye um aðrar rannsóknir P.D.
- Descamps R. (1926) Sur un spectro-polarimètre photographique pour l'ultraviolet. Revue d'Optique 5, 482-501.
- Des Cloizeaux A. (1843) Observations sur la calcite. Ann. Chim. 7, 494-497.
- Des Cloizeaux A. (1846-47) Note sur le gisement du spath d'Islande. Bull. Soc. Géol. Fr. 4, 768-773.
- Des Cloizeaux A. (1855) Mémoire sur la cristallisation et la structure intérieure du quartz. Ann. Chim. 45, 129-316.
- Des Cloizeaux A. (1857a). Mémoire sur l'emploi des propriétés optiques biréfringentes, pour la distinction et la classification des minéraux cristallisés. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 44, 322-324.
- Des Cloizeaux A. (1857b) Note sur l'existence de la polarisation circulaire dans le cinabre. Comptes Rendus Acad. Sci. 44, 876-878, meira 909-912 og í Ann. Chim. 51, 361-367.
- Des Cloizeaux A. (1861) Mémoire sur un nouveau procédé propre à mesurer l'indice moyen et l'écartement des axes optiques... Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 52, 784-790.
- Des Cloizeaux A. (1862, 1874) Manuel de Minéralogie. Tome I, II. Dunod, Paris, 572 + 208 bls. og myndasíður. Viðbót við II. bindið kom svo 1893, 336 bls.
- Des Cloizeaux A. (1864) Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques biréfringentes propres à déterminer le système cristallin dans les cristaux naturels ou artificiels. Ann. Mines 6, 557-595, þýðing í Ann. Phys. 126, 387-424, 1865.
- Des Cloizeaux A. (1866) Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux naturels ou artificiels et sur les variations que ces propriétés éprouvent sous l'influence de la chaleur. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 62, 987-990. Miklu meira í Mém. Savants Étr. 18, 511-732, 1868.
- Des Cloizeaux A. (1875) Mémoire sur les propriétés optiques biréfringentes caractéristiques des quatre principaux feldspaths tricliniques, et sur un procédé pour les distinguer immédiatement les uns des autres. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 80, 364-371.
- Deslandres H. (1886) Spectre du pôle négatif de l'azote. Loi générale de répartition des raies dans les spectres de bandes. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 103, 375-379.
- Deslandres H. (1888) Spectres des bandes ultra-violettes des métalloïdes avec une faible dispersion. Ann. Chim. 15, 5-86. Einnig t.d. Spectre de bandes ultra-violettes des composés hydrogénés et oxygénés du carbone. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 106, 842-846.
- Deslandres H. (1893) Contribution à la recherche de la couronne solaire en dehors des éclipses totales. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 116, 127-129. Sjá einnig grein hans um sólmyrkva í Senegal í 120, 707-709, 1895.
- Dick A.B. (1889) A new form of microscope. Mineral. Mag. 8, 160-163. Endurbætt gerð var kynnt af G.W. Grabham í 15, 335-349, 1910.
- Dictionary of Scientific Biography (1980-90), vols. 1-18, aðalritstj. C.C. Gillispie. C. Scribner & Sons, New York. Æviágrip margra vísindamanna. Að auki hefur verið stuðst við ýmis önnur æviskrárit.
- Dill D.B. og C.L. Alsberg (1925) Preparation, solubility, and specific rotation of wheat gliadin. J. Biol. Chem. 65, 279-304.
- Ditscheiner L. (1871) Über eine einfache Vorrichtung zur Herstellung complementärer Farbenpaare mit Brücke's Schistoskop. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 63(2), 554-564.
- Dobrowolsky W. (1872) Zur Kenntnis über die Empfindlichkeit des Auges gegen Farbentöne, og 4 aðrar greinar hlið við hlið í Arch. Ophthalmol. 18 (Abth. 1) 53-103. Kynning eftir H. v. Helmholtz er í Monatsber. Akad. Wiss. Berlin 1872, 119-122.
- Dodge F.D. (1915) The standardization of alkalimetric solutions. J. Ind. Eng. Chem. 7, 29-30.
- Doelter C. (1912) Handbuch der Mineralchemie. Band I. Th. Steinkopf Verlag, Dresden, 1008 bls.
- Dorno C. (1919) Über Beobachtungen der Sonnen- und Himmelsstrahlung und ihre Bedeutung für die Klimatologie und Biologie sowie für die Geophysik und Astronomie. Naturwissensch. 7, 973-976, 1007-1012.

- Douglas B. (1994) Optical activity in coordination chemistry. Kafli í: *Coordination Chemistry, a Century of Progress* (ritstj. G.B. Kauffman). ACS Symposium Series 565. Am. Chem. Soc., Washington, D.C., 275-285.
- Dove H.W. (1835) Beschreibung eines Apparats für geradlinige, elliptische und circulare Polarisation des Lichtes. *Ann. Phys.* 35, 596-608.
- Dove H.W. (1847a,b) Ueber Darstellung des Weiss aus Complementarfarben und über die optischen Erscheinungen, welche sich in rotirenden Polarisationsapparaten zeigen. *Ann. Phys.* 71, 97-111. Ueber Depolarisation des Lichtes, 115-118.
- Dove H.W. (1860) Das Dichrooskop. *Ann. Phys.* 110, 265-278. Sá búnaður sem þarna er lýst, er mun umfangsmeiri en venjuleg dichroskop (sem W. Haidinger fann upp 1844).
- Dove H.W. (1861) Beschreibung eines Photometers. *Ann. Phys.* 114, 145-163.
- Dove H.W. (1864) Ueber ein neues polarisirendes Prisma. *Ann. Phys.* 122, 18 og 456.
- Dowell J.H. (1931) A new polarizing system for spectrophotometers. *J. Sci. Instr.* 8, 382-384, með nánari lýsingu í 10, 153-156, 1933.
- Drabkin D.L. og J.H. Austin (1932) Spectrophotometric studies I. Spectrophotometric constants for common hemoglobin derivatives in human, dog and rabbit blood. *J. Biol. Chem.* 98, 719-733, 1932.
- Drude P. (1889a) Ueber Oberflächenschichten. *Ann. Phys.* 36, 532-560, 865-877.
- Drude P. (1889b) Ueber die Reflexion des Lichtes am Kalkspath. *Ann. Phys.* 38, 265-287.
- Drude P. (1898) Die optischen Constanten des Natriums. *Ann. Phys.* 64, 159-162.
- Drude P. (1900a) Lehrbuch der Optik. S. Hirzel Verlag, Leipzig, 498 bls. Sjá Mynd 34-1A. 2. útg. kom 1906.
- Drude P. (1900b) Zur Elektronentheorie der Metalle. *Ann. Phys.* 1, 566-613 og 3, 369-402. Framhald í 7, 687-692, 1902
- Drude P. (1904) Optische Eigenschaften und Elektronentheorie. *Ann. Phys.* 14, 677-726, 936-961. Sjá einnig grein hans í *Nachr. Gesellsch. Wiss. Göttingen* 1904, 1-8, og kafla 26-28 eftir hann í Winkelmann 1906.
- Drude P. og W. Nernst (1891) Ueber die Fluorescenzwirkung stehender Lichtwellen. *Nachr. Gesellsch. Wiss. Göttingen* 1891, 346-358. Einnig í *Ann. Phys.* 45.
- Duane W. og F.L. Hunt (1915) On X-ray wavelengths. *Phys. Rev.* 6, 166-171. Endurbætt af F.C. Blake og W.D. í 10, 624-637, 1917.
- Duboscq J. (1885) Historique et catalogue de tous les instruments d'optique supérieure appliqués aux sciences et à l'industrie. Paris, 114 bls.
- Duboscq J. og H. Soleil (1850) Note sur un nouveau compensateur pour le saccharimètre. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 31, 248-250.
- Dubrunfaut A.P. (1846) Note sur quelques phénomènes rotatoires et sur quelques propriétés des sucres. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 23, 38-44.
- Dubrunfaut A.P. (1847) Note sur le glucose. *Ann. Chim.* 21, 178-180, sjá einnig grein hans 169-178.
- Dubrunfaut A.P. (1849) Mémoire sur les sucres. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 29, 51-55.
- Dubrunfaut A.P. (1869) Note sur la présence des glucoses dans les sucres bruts et raffinés de betteraves. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 68, 546-547, 663-666. Nánar í greinum eftir A. Girard o.fl. um 1880.
- Dubrunfaut A.P. (1870) Méthode de separation du lévulose et du sucre interverti. *J. Pharm.* 11, 394-397.
- Ducretet E. (1889) The optical pyrometer. *Manufacturer and Builder* 21, 84, þýtt úr *La Nature* 17, 139-140.
- Dufet H. (1886) Sur un nouveau microscope polarisant. *Bull. Soc. Minéral. Fr.* 9, 275-281.
- Dufet H. (1891, 1893) Mesures comparatives d'indices par le prisme et la réflexion totale. *Bull. Soc. Minéral. Fr.* 14, 130-148. Sur les indices de réfraction du spath d'Islande. 16, 149-178.
- Dufet H. (1898-1900) *Optique*, 3 bindi. Gauthier-Villars et Fils, Paris, 1312 bls.
- Duhamel J.M.C. (1832) Sur les équations générales de la propagation de la chaleur dans les corps solides dont la conductibilité n'est pas la même dans tous les sens. *J. École Polyt.* 13, 356-399. Meira í *C.R.* 2, 180-182, 1836, Liouville *J. Mathém.* 4, 63-78, 1839, *C.R.* 25, 870-874, 1847 og *J. École Polyt.* 19, 155-188, 1848.

- Dumas J.B. (1842) Recherches sur la composition de l'eau (Extrait). Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 14, 537-547, þýðing í J. Prakt. Chemie 26, 449-460. Hér eru einnig efnagreiningar á íslensku silfurbergi, vegna atómpunga kalsíums.
- DuMond J.W.M. (1933) The linear momenta of electrons in atoms and in solid bodies as revealed by X-ray scattering. Revs. Modern Phys. 5, 1-33.
- Duncan R.W. og R.C. Duncan (1912) The optical constants of sodium and potassium. Phys. Rev. 1, 294-308.
- Dunn G. (2005) Transmitted-light interference microscopy: a technique born before its time. <http://members.aol.com/hbronstein/index/aobaker/article.htm>, 10 bls.
- Duparc L. og F. Pearce (1907) Traité de Technique Minéralogique et Pétrographique, I. Veit & Co. Leipzig, 483 bls.
- Ebner V. v. (1874) Untersuchungen über das Verhalten des Knochengewebes im polarisirten Lichte. Sitzungsber. Akad. Wissensch. Wien 70(3), 105-143. Framhald í 72 (3), 49-138, 1876 og 75 (3) 155-163, 1877.
- Ebner V. v. (1882) Untersuchungen über die Ursachen der Anisotropie Organisirter Substanzen. W. Engelmann, Leipzig, 243 bls.
- Ebner V. v. (1884, 1885) Die Lösungsflächen des Kalkspathes und des Aragonites, I-III. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, 89(2), 368-458 og 91(2), 760-835.
- Ebner V. v. (1892) Ueber A. Fromme's Einrichtung des Polarisationsapparates zu histologischen Zwecken. Zeitschr. Wissensch. Mikrosk. 9, 161-168.
- Ebstein W. (1888) Zur Naturgeschichte der Concremente im Thierkörper, insbesondere der Harnsteine. Naturwiss. Rundschau 3, 105-111.
- Eddy C.H., T.H. Laby og A.H. Turner (1929) Analysis by X-ray spectroscopy. Proc. Royal Soc. A124, 249-268. Framhald m.a. í 127, 20-42, 1930 og 135, 637-656, 1932.
- Edmunds C.K. (1904) The metallic reflection of selenium. Phys. Rev. 18, 193-229. Framhald 385-402.
- Ehrenberg C.G. (1848, 1849) Über eine neue einflussreiche Anwendung des polarisirten Lichtes für mikroskopische Auffassung des Organischen und Anorganischen. Ber. Akad. Wiss. Berlin 1848, 238-247. Weitere Mittheilungen über Resultate bei Anwendung des chromatisch-polarisirten Lichtes für mikroskopische Verhältnisse. 1849, 55-76. Seinni greinin birtist einnig í J. Prakt. Chemie 49, 490-511, 1850.
- Ehringhaus A. (1920) Ein neues anastigmatisches Polarisationsprisma zum Gebrauch als Tubusanalysator im Polarisationsmikroskop. Centralbl. Mineral. 1920, 175-182. Sjá bandarískt einkaleyfi no. 1,527,848, 3 bls.
- Ehringhaus A. (1940) Drehkompensatoren mit besonders grossen Messbereich. Zeitschr. Krystallogr. 102, 85-111.
- Einstein A. (1905a) Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. Ann. Phys. 17, 132-148.
- Einstein A. (1905b) Zur Elektrodynamik bewegter Körper. Ann. Phys. 17, 891-921. Viðbót í 18, 639-641.
- Einstein A. (1907) Die Plancksche Theorie der Strahlung und die Theorie der spezifischen Wärme. Ann. Phys. 22, 180-190. Leiðrétting bls. 800.
- Einstein A. (1910) Theorie der Opaleszenz von homogenen Flüssigkeiten und Flüssigkeitsgemischen in der Nähe des kritischen Zustandes. Ann. Phys. 33, 1275-1298.
- Einstein A. (1911) Eine Beziehung zwischen dem elastischen Verhalten und der spezifischen Wärme bei festen Körpern mit einatomigem Molekül. Ann. Phys. 34, 170-174. Nánar í 35, 679-694.
- Elster J. og H. Geitel (1894) Über die Abhängigkeit der Intensität des photoelektrischen Stromes von der Lage der Polarisationssebene des erregenden Lichtes zu der Oberfläche der Kathode. Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin 1894, 133-135. Nánar í 1895, 209-216.
- Elster J. og H. Geitel (1895) Lichtelektrische Untersuchungen an polarisirtem Lichte. Ann. Phys. 55, 684-700. Meira í 61, 445-465, 1897.
- Elster J. og H. Geitel (1909) Über den Einfluss des Polarisationszustandes des erregenden Lichtes auf die Elektronenemission an Alkalimetallflächen. Phys. Zeitschr. 10, 457-465.

- Elster J. og H. Geitel (1912) Der photoelektrische Effekt am Kalium bei sehr geringen Lichtstärken. Phys. Zeitschr. 13, 468-476.
- Elster J. og H. Geitel (1913) Die Proportionalität von Lichtstärke und Photostrom in Alkalimetallzellen. Phys. Zeitschr. 14, 741-752.
- Emich F. (1916) Über mikrochemische Arbeitsmethoden. Naturwissensch. 4, 625-632. Sjá einnig t.d. yfirlitsgrein hans í Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 43, 10-45, 1910.
- Endell K. (1921) Über ein neues Erhitzungsmikroskop für hohe Temperaturen mit synchroner Nikoldrehung. Zeitschr. Kristallogr. 56, 191-193.
- Engelmann T.W. (1875) Contractiliteit en dubbelbrekend vermogen. Onderzoek. Physiol. Lab. Utr. Hoogesch. 3 (Afl. 2), 1-44, þýðing í Pflügers Arch. Physiol. 11, 432-465. Sjá einnig m.a. erindi hans í Proc. Royal Soc. 57, 411-433, 1895.
- Epstein P.S. (1916) Zur Theorie des Starkeffektes. Ann. Phys. 50, 489-520.
- Erdmann O.L. og R.F. Marchand (1842) Ueber die Atomgewichte des Wasserstoffes und des Calciums. J. Prakt. Chemie 26, 461-478. Stytt í Ann. Chim. 8, 207-216.
- Erdmann O.L. og R.F. Marchand (1844) Ueber das Atomgewicht des Calciums. J. Prakt. Chemie 31, 257-271. Viðbót með svörum við gagnrýni frá J.J. Berzelius og minniháttar leiðréttingum er í 37, 65-80, 1846.
- Erdmann O.L. og R.F. Marchand (1850) Nachträgliche Bemerkung über das Aequivalent des Calciums. J. Prakt. Chemie 50, 237-238.
- Esselbach E. (1856) Anhang I. Ueber die Anwendbarkeit der Talbot'schen Linien, als Mittel zur Messung optischer Constanten, mit Bezug auf Airys Theorie derselben. Ann. Phys. 98, 527-541. Þetta er hluti greinar um útfjólublátt ljós bls. 513-546.
- Ettingshausen A. v. (1856) Über die neueren Formeln für das an einfach brechenden Medien reflectirte und gebrochene Licht. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 18, 369-391.
- Eucken A. (1911) Über die Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit fester Nichtmetalle. Ann. Phys. 34, 185-221.
- Evans J.W. (1949) The birefringent filter. J. Opt. Soc. Am. 39, 229-242.
- Ewald P.P. (1923) Kristalle und Röntgenstrahlen. J. Springer, Berlin, 327 bls.
- Exner F. (1902) Über die Grundempfindungen im Young-Helmholtz'schen Farbensystem. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 111(2a), 857-877.
- Fabry C. og H. Buisson (1921) A study of the ultra-violet end of the solar spectrum. Astrophys. J. 54, 297-322, þýtt úr J. Phys.
- Fabry C. og A. Perot (1900) Sur la constitution des raies jaunes de sodium. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 130, 653-655.
- Faraday M. (1845, 1848) Experimental researches in electricity. Um þessar rannsóknir birtist syrpa greina í Phil. Trans. Royal Soc. Í hverri grein er sagt stuttlega frá mörgum tilraunum. Rannsóknir Faradays á snúningsáhrifum segulsviðs á skautunarplan ljóss í nóv. 1845 eru í 19. greininni sem er kynnt í Proc. Royal Soc. 5, 567-569. Hún birtist svo í Phil. Trans. 136, 1-20, 1846. Rannsóknunum er einnig lýst í Phil. Mag. 28, 294-317, 396-406, 455-468 og 29, 153-156, 249-258, 1846. Hann reyndi að finna þessi hrif í silfurbergi, en tókst ekki. Um „magne-crystalline action“ skrifar Faraday einkum í 22. greininni, sem lögð var fram haustið 1848 og kynnt í Proc. Royal Soc. 5, 780-783, og endurtekur hann þar m.a. tilraun um áhrif segulsviðs á silfurbergskristall, sem hann hafði séð Plücker gera. Greinin birtist í Phil. Trans. 139, 1-18, 19-42, 1849. Viðbót er í 26. greininni, Faraday var þá orðið kunnugt um rannsóknir Tyndalls og Knoblauchs (1850). 29 greinar um þessar „Experimental researches“ voru síðan gefnar út á bók í þrem bindum ásamt nokkrum öðrum ritmiðum M.F., og eru þessar allar í 3. bindinu, 1855.
- Faraday M. (1856) Experimental researches in electricity, 30th series. Phil. Trans. Royal Soc. 146, 159-180. Meðal annars er fjallað um þau vægi sem verka á kúlu úr kalkspati í segulsviði.
- Fedorow E. v. (1891) Eine neue Methode der optischen Untersuchung von Krystallplatten in parallelem Lichte. Mineral. Petrogr. Mitth. 12, 505-509. Miklu meira er um þessa aðferð (Universal- eða Theodolitmethode) í Zeitschr. Kristallogr. 21, 574-714, 1893.

- Fedorow E. v. (1901) Einige neue Hilfsapparate für das Polarisationsmikroskop (endursögn úr rússnesku tímariti). Zeitschr. Krystallogr. 37, 413-414, 1903. Viðbót í 40, 297-298, 1904-05.
- Fellinger R. (1902) Bestimmung der Dielektricitätsconstante von Krystallen im homogenen elektrischen Felde. Ann. Phys. 7, 333-357, útdráttur í Zeitschr. Krystallogr. 35, 184-188.
- Fermi E. og L. Marshall (1947) Interference phenomena of slow neutrons. Phys. Rev. 71, 666-677.
- Feussner K. (1884) Ueber die Prismen zur Polarisation des Lichtes. Zeitschr. Instrumentenk. 4, 41-50. Lýsing á helstu tegundum, og sparnaðar-möguleikum. Endursagt af P.R. Sleeman 1884.
- Filon L.N.G. (1907) On the dispersion in artificial double refraction. Phil. Trans. Royal Soc. A207, 263-306. Útdráttur í Proc. R.S. A79, 200-202, framhald 440-442.
- Filon L.N.G. (1912) The investigation of stresses in a rectangular bar by means of polarized light. Phil. Mag. 23, 1-25.
- Fischer E. (1890a,b,c,d) Synthese der Mannose und Lävulose. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 23, 370-394. Synthese des Traubenzuckers, 799-805. Synthesen in der Zuckergruppe, 2114-2141 (erindi: útdráttur í J. Am. Chem. Soc. 12, 340-348). Ueber die optischen Isomeren des Traubenzuckers, der Gluconsäure und der Zuckersäure. 2611-2624.
- Fischer E. (1894a) Synthesen in der Zuckergruppe II. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 27, 3189-3232.
- Fischer E. (1894b) Einfluss der Configuration auf die Wirkung der Enzyme. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 27, 2985-2993, 3479-3483.
- Fischer E. (1895) Ueber die Isomaltose. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 28, 3024-3028.
- Fischer E. (1898-99) Bedeutung der Stereochemie für die Physiologie. Zeitschr. Physiol. Chemie 26, 60-87.
- Fischer E. (1899) Ueber die Spaltung einiger racemischer Amidosäuren in die optisch-aktiven Componenten. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 32, 2451-2471.
- Fischer E. (1906) Synthese von Polypeptiden. XV. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 39, 2893-2931.
- Fischer E. (1911) Über Mikropolarisation. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 44, 129-132.
- Fischer E. og O. Piloty (1891) Ueber eine neue Pentonsäure und die zweite inaktive Trioxyglutarsäure. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 24, 4214-4225.
- Fischer E. og H. Thierfelder (1894) Verhalten der verschiedenen Zucker gegen reine Hefen. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 27, 2031-2037.
- Fisk H.G. (1934) The nature of Portland cement clinker. J. Chem. Educ. 11, 195-203.
- FitzGerald G.F. (1877) On the rotation of the plane of polarization of light by reflection from the pole of a magnet. Proc. Royal Soc. 25, 447-450.
- FitzGerald G.F. (1881) On the electromagnetic theory of the reflection and refraction of light. Phil. Trans. Royal Soc. 171, 691-711.
- Fizeau H. (1860) Sur une méthode propre à rechercher si l'azimut de polarisation du rayon réfracté est influencé par le mouvement du corps réfringent. Ann. Chim. 58, 129-163. Einnig í C.R. 49, 717-723, 1859 og þýðing í Ann. Phys. 114, 160-169, 554-587.
- Fizeau H. (1861) Recherches sur plusieurs phénomènes relatifs à la polarisation de la lumière. Ann. Chim. 63, 385-414. Útdráttur í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 52.
- Fizeau H. (1862) Recherches sur les modifications que subit la vitesse de la lumière dans le verre et plusieurs autres corps solides sur l'influence de la chaleur. Ann. Chim. 66, 429-482. Um gler, silfurberg o.fl. Þýðing í Ann. Phys. 119, 87-114, 297-317, 1863. Einnig smávægis í C.R. 54, 1237-1239, 1861, og rætt um niðurstöðurnar í grein um kvars í Ann. Chim. 2, 143-185, 1864 með útdrætti í C.R. 58, 923-932, 1863.
- Fizeau H. (1866) Mémoire sur la dilatation des corps solides par le chaleur. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 62, 1101-1106, 1133-1148. Framhald í 66, 1005-1014, 1072-1086, 1868. Nákvæmar mælingar á þanstuðlum kalkspats og margra annarra efna voru síðan gerðar af J.R. Benoît í Mém. Trav. Bur. Internat. Poids et Mesures 6, 1888, 193 bls.

- Fizeau H. og L. Foucault (1845) Sur le phénomène des interférences entre deux rayons de lumière dans le cas de grandes différences de marche. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 21, 1155-1158. Meira í *Ann. Chim.* 26, 138-148, 1849 og 30, 146-159, 1850.
- Fizeau H. og L. Foucault (1847) Recherches sur les interférences des rayons calorifiques. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 25, 447-450.
- Fleischl E.v. (1885) Das Spectro-Polarimeter. *Exner's Repertorium der Physik* 21, 323-331.
- Fletcher L. (1891) The optical indicatrix and the transmission of light in crystals. *Mineral. Mag.* 9, 278-388.
- Fleury P. (1930) Couleurs et colorimétrie. Erindi, útgefið sem *Conférences d'actualités scientifiques et industrielles* 12. Hermann & Cie, Paris, 33 bls.
- Flint E. (1971) *Essentials of Crystallography*. Mir, Moskvu, 232 bls.
- Foot H.W. og W.M. Bradley (1926) The determination of calcium by the conversion of the oxalate to the carbonate. *J. Am. Chem. Soc.* 48, 676-678.
- Foot P.D. (1927) Depolarization of resonance radiation. *Phys. Rev.* 30, 300-304.
- Forbes J. D. (1836) On the refraction and polarization of heat. *Trans. Royal Soc. Edinb.* 13, 131-168, 446-471. Einnig: On the undulatory theory of heat, and on the circular polarization of heat by total reflexion. *Phil. Mag.* 8, 246-249.
- Forge F.B. La og C.S. Hudson (1917) Sedoheptose, a new sugar from *Sedum spectabile*. I. *J. Biol. Chem.* 30, 61-77. Framhald í 42, 367-374, 1920.
- Foucault L. (1857) Nouveau polariseur en spath d'Islande. Expérience de fluorescence. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 45, 238-241. Útdráttur í *Ann. Phys.* 102, 642-643.
- Foucault L. og J. Regnaud (1849) Note sur quelques phénomènes de la vision au moyen des deux yeux. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 28, 78-80.
- Fouqué F. (1876) Détermination des minéraux microscopiques des roches. *Rev. Sci.* 11, 589-596.
- Fouqué F. (1879) Les applications modernes du microscope à la géologie. *Revue des deux Mondes* 34, 406-431.
- Fouqué F. (1882) Reproduction artificielle des roches éruptives. *Rev. Sci.* 2, 834-837 og 3, 133-143, útdráttur úr bók.
- Fourcroy A.F. de og L.N. Vauquelin (1804) Expériences comparées sur l'arragonite d'Auvergne, et le carbonate de chaux d'Islande. *Ann. Muséum d'Hist. Nat.* 4, 405-411.
- Franck J. og G. Hertz (1912) Über durch polarisiertes Licht erregte Fluorescenz von Joddampf. *Verh. Deutsch. Phys. Gesellsch.* 18, 423-425.
- Françon M. (1957) Polarization apparatus for interference microscopy and macroscopy of isotropic transparent objects. *J. Opt. Soc. Am.* 47, 528-535.
- Françon M. (1963) *Modern Applications of Physical Optics*. Interscience, New York, 106 bls.
- Frankenheim M.L. (1829) De crystallorum cohaesione, ritgerð útgefin af A. Schulz, Breslau, tilvitnuð af Naumann (1885, bls. 149), 45 bls. Einnig komu greinar eftir hann um hörku kristalla í *Zeitschr. Phys.* 9, bls. 94 og 194, tilvitnaðar af Naumann og af Franz 1850.
- Frankenheim M.L. (1836) Ueber die Verbindung verschiedenartiger Krystalle. *Ann. Phys.* 37, 516-522.
- Frankenheim M.L. (1854, 1860) Ueber die Isomerie bei dem salpetersauren Kali und dem kohlsauren Kalk. *Ann. Phys.* 92, 354-365. Ueber das Entstehen und das Wachsen der Krystalle nach mikroskopischen Beobachtungen. 111, 1-60.
- Franz R. (1850) Ueber die Härte der Mineralien und ein neues Verfahren dieselbe zu messen. *Ann. Phys.* 80, 37-55. Hann fann m.a. eins og Frankenheim (og Seebeck í óbirtri ritgerð frá 1833) að harka íslensks silfurbergs væri mjög háð stefnu. Niðurstöðum þeirra bar þó ekki fyllilega saman.
- Frehafer M.K. (1920) Reflection and transmission of ultra-violet light by sodium and potassium. *Phys. Rev.* 15, 110-125.
- Fresnel A. (1816) Mémoire sur la diffraction de la lumière. *Ann. Chim.* 1, 239-281.

- Fresnel A. (1817) Mémoire sur les modifications que la réflexion imprime à la lumière polarisée. Lagt fram í Akademiunni í nóv., og viðbót í jan. 1818, en þessi verk voru ekki prentuð fyrr en í Fresnel (1866-70). Annað verk um svipað efni var lagt fram 1823 og birtist í *Mém. Acad. Sci.* 11, 393-433, 1832.
- Fresnel A. (1821) Note sur le calcul des teintes que la polarisation développe dans les lames cristallisées. *Ann. Chim.* 17, 102-112, 167-196, 312-316.
- Fresnel A. (1821-22) Margar ritsmíðar um skautun ljóss og m.a. tengsl þess við tvöfalt ljósbrot. Sjá t.d. ritskrá í Buchwald 1989. Þar á meðal: Note sur l'expérience des franges produites par deux rhomboïdes de chaux carbonatée. Premier mémoire sur la double réfraction og Mémoire sur la double réfraction (Extrait), ásamt Supplements. Sumar birtust ekki fyrr en í heildar-ritsafni Fresnels (1866-70).
- Fresnel A. (1822a) Sur la double refraction particulière que présente le cristal de roche dans la direction de son axe. Útdr. í *Bull. Soc. Philom.* 191-198 og *Ann. Chim.* 20, 376-382, stærri grein í *Ann. Chim.* 28, 147-161, 263-279, 1825.
- Fresnel A. (1822b) De la lumière. Almenn ritsmíð um ljósbeygju, bylgjuvíxl, skautun og tvöfalt ljósbrot, gefin út sem viðauki með franskrí þýðingu efnafræðibókar T. Thomsons. Endurprentuð m.a. í bókaflokknum *Les Classiques de la Science*, París 1914, 132 bls. Á þýsku í *Ann. Phys.* 3, 89-128, 303-328, 1825 og 12, 197-249, 366-399, 1828. Ensk þýðing T. Youngs birtist í *Quarterly Review* 1827-29.
- Fresnel A. (1822c) Extrait d'un mémoire sur la double réfraction. *Bull. Soc. Philom.* 1822, 63-71.
- Fresnel A. (1827) [Second] Mémoire sur la double réfraction. *Mém. Acad. Sci.* 7, 45-176. Þýðing í *Ann. Phys.* 23, 372-434, 494-557, 1831.
- Fresnel A. (1866-70) *Oeuvres Complètes I-III*. Ritstj. H. de Senarmont, É. Verdet og L. Fresnel. Imprimerie Nationale, París, 804+864+751 bls. Endurprentuð 1995.
- Freudenberg K. og W. Kuhn (1931) Regeln und Superposition bei der optischen Drehung. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 64, 703-732.
- Frey A. (1925) Zur Frage nach der Ursache des Dichroismus gefärbter Fasern. *Naturwissensch.* 13, 403-406.
- Frey A., A. Köhler, W.J. Schmidt, K. Spangenberg og R. Zsigmondy (1926) Hermann Ambronn zum siebenzigsten Geburtstage. *Naturwissensch.* 14, 765-771.
- Frick H. (1930) Reflexionsmessungen an Erz- und Metallschliffen mit Hilfe eines Reflexions-Fotometer-Okulars. *N. Jahrb. Mineral. Beilageb.* 61A, 31-86.
- Friedel C. (1893) Sur un procédé de mesure des biréfringences. *Bull. Soc. Minéral. Fr.* 16, 19-33. Útdráttur í *C.R.* 116, 272-274.
- Friedel G. (1902) Sur deux clivages de la calcite. *Bull. Soc. Minéral. Fr.* 25, 113-115. Nánar um það mál í grein eftir J. Donnay o.fl., *Am. Mineral.* 19, 437-458, 1934.
- Friedel G. (1922) Les états mésomorphes de la matière. *Ann. de Phys.* 18, 273-474.
- Friedel G. (1926) *Leçons de Cristallographie*. Berger-Levrault, Nancy, 602 bls.
- Fries C. (1948) Optical calcite deposits of the Republic of Mexico. *U.S. Geol. Survey Bull.* 954D, 113-177 + kort.
- Frocht M.M. (1941, 1948) *Photoelasticity I-II*. J. Wiley, New York, 411+505 bls.
- Fuess R. (1891) Ueber Mikroskope für kristallographische und petrographische Untersuchungen. *N. Jahrb. Mineral. Beilageb.* 7, 55-89.
- Fuess R. (um 1910) Hluti verðlista, líklega Hauptkatalog 113, um litrófsmæla o.fl. tæki.
- Fürth R. (1915) Spektralphotometrische Untersuchung der Opaleszenz eines binären Flüssigkeitsgemisches. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 124(2a), 577-596.
- Föppl L. og E. Mönch (1959) *Praktische Spannungsoptik*, 2. útg. Springer, Berlín, 209 bls.
- Förster F. (1890) Eine Methode zur quantitativen Bestimmung von Campher. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 23, 2981-2989.
- Gaimard P. (1836) *Travaux de la Commission scientifique d'Islande*. Útdráttur bréfa í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 3, 387 og 465-473. Sjá einnig útdrátt tveggja bréfa frá E. Robert, 425-430.

- Gamgee A. og A.C. Hill (1903) On the optical activity of hæmoglobin and globin. Proc. Royal Soc. 71, 376-385.
- Gamgee A. og W. Jones (1903, 1904) On the nucleoproteids of the pancreas, thymus, and suprarenal gland, with especial reference to their optical activity. Proc. Royal Soc. 71, 385-397 (sjá einnig samnefnda grein þeirra í Am. J. Physiol. 8, 447-455). On the optical activity of the nucleic acid of the thymus gland. 72, 100-103.
- Gans R. (1920) Ultramikroskopische Studien. Methoden zur Formbestimmung subultra-mikroskopischer Teilchen. Ann. Phys. 62, 331-357.
- Gans R. (1921) Asymmetrie von Gasmolekeln. Ein Beitrag zur Bestimmung der molekularen Form. Ann. Phys. 65, 97-123.
- Garbe P. (1887) Recherches expérimentales sur le rayonnement. Ann. Fac. Sci. Toulouse 1(2-3), 91 bls. Útdráttur í J. Phys. 5, 245-258, 1886.
- Garboe A. (1918) Af dobbeltspatens historie. Fysisk Tidsskrift 1918, 163-165. Svipað í Naturens Verden 18, 255-257, 1934.
- Garboe A. (1949) Fra krystal-optikens barndom. Naturens Verden 33, 121-125. Sjá einnig: Fra et besøg i Leiden. Bartholinernes studieby. 38, 224-232, 1954. Dobbeltspat fra forekomster udenfor Island, 38, 313-314, 1954 (endursagt í smágrein Sigurðar Péturssonar, „Silfurberg utan Íslands“, í Náttúrufræðingnum 1957). Et manuskript til Erasmus Bartholins afhandling om lysets dobbeltbrydning 1669, í Fund og Forskning i det Kgl. Bibl. Samlinger 8, 15-23, 1961.
- Garboe A. (1959, 1961) Geologiens Historie i Danmark. I. Fra Myte til Videnskab. II. Forskere og Resultater. C.A. Reitzels Forlag, Kbh., 283 + 522 bls.
- Gaubert P. (1901) Sur les faces de dissolution de la calcite et sur les figures de corrosion des carbonates rhomboédriques. Bull. Soc. Fr. Minéral. 24, 326-350.
- Gaubert P. (1905) Cristaux liquides et liquids cristallins. Rev. Gén. Sci. 16, 983-993.
- Gaubert P. (1912) De l'influence de la vitesse d'attaque de la calcite par les acides sur la forme des figures de corrosion de ce minéral. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 155, 547-549.
- Gaviola E. (1926) Die Abklingungszeiten der Fluorescenz von Farbstofflösungen. Ann. Phys. 81, 681-710. Einnig í Zeitschr. Phys. 35, 748-756.
- Gaviola E. (1929) On time-lags in fluorescence and in the Kerr and Faraday effects. Phys. Rev. 33, 1023-1034.
- Gaviola E. og P. Pringsheim (1924) Über die Polarisation der Natrium-Resonanzstrahlung in magnetischen Feldern. Zeitschr. Phys. 25, 367-377.
- Gay-Lussac J.L. (1816) Expériences pour déterminer la quantité de strontiane contenue dans plusieurs espèces d'arragonite. Ann. Chim. 2, 176-182, þýðing í Ann. Phys. 54, 232-239, athugasemdir F. Stromeyers eru svo þar á bls. 239-244.
- Gayon U. (1877) Sur la transformation du sucre cristallisable en glucose inactif dans les sucres bruts de canne. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 84, 606-609, meira m.a. í 87, 407-408, 1878 og 91, 993-995, 1880.
- Gayon U. (1882) Recherches sur la formation du sucre réducteur dans les sucres bruts de canne. J. Pharm. 5, 440-446, meira m.a. í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 103, 883-885, 1886 og 110, 865-868, 1890. Einnig má lesa um gæðarýrningun hráskykurs af völdum örvera í grein C.A. Browne í J. Ind. Eng. Chem. 10, 178-190, 1918.
- Gehrcke E., ritstj. (1927) Handbuch der Physikalischen Optik I-II. J.A. Barth, Leipzig, 957 + 807 bls.
- Geiger L. (1907) Über die Begleiterscheinungen des inversen longitudinalen Zeemaneffektes. Ann. Phys. 23, 758-794.
- Gerlach W. og O. Brezina (1924) Eine neue Methode zur direkten Messung des Intensitätsverhältnisses von Mehrfachlinien. Zeitschr. Phys. 22, 215-221.
- Gerlach W. og O. Stern (1922) Der experimentelle Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld. Zeitschr. Phys. 9, 349-352, og í beinu framhaldi: Das magnetische Moment der Silberatoms, 353-355.
- Gernez D. (1864) Sur le pouvoir rotatoire des liquides actifs et de leurs vapeurs. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 58, 1108-1111.
- Getman F.H. (1922) A spectrophotometric study of solutions of cupric chloride. J. Phys. Chem. 26, 217-246.

- Gibbs J.W. (1882) Notes on the electromagnetic theory of light. I. On double refraction and dispersion in perfectly transparent media. *Am. J. Sci.* 23, 262-275. II. On double refraction in perfectly transparent media which exhibit circular polarisation, 460-476.
- Gibbs J.W. (1888) A comparison of the elastic and electrical theories of light with respect to the law of double refraction and the dispersion of colors. *Am. J. Sci.* 35, 467-475.
- Gibbs J.W. (1889) A comparison of the electric theory of light and Sir W. Thomson's theory of a quasi-labile ether. *Am. J. Sci.* 37, 129-144.
- Gibson F. (1929) Germany's talking films. *New York Times* 8. des., bls. X5.
- Gibson I.L. (1963) The Reydarfjörður acid volcanic centre of Eastern Iceland. Doktorsritgerð, University of London, 267 bls.
- Gibson K.S., H.J. McNicholas, E.P.T. Tyndall og M.K. Frehafer (1922) The spectral transmissive properties of dyes I. *Sci. Pap. Bur. Standards* 18, 121-184 (no. 440).
- Gifford J.W. (1902) The refractive indices of fluorite, quartz and calcite. *Proc. Royal Soc.* 70, 329-340. Viðbót í A84, 193, 1910.
- Gillett H.W. (1911) Temperature measurements in an experimental carborundum furnace. *J. Phys. Chem.* 15, 213-305.
- Gillispie C.C. (1997) Pierre-Simon Laplace 1749-1827. Princeton University Press, Princeton, 322 bls. Ath.: kafli á bls. 209-215 er eftir R. Fox.
- Girard A., rapporteur (1877) Les procédés saccharimétriques et le rendement des sucres bruts au raffinage. *Moniteur Sci.* 19, 357-380. Frá mælingum Girards er sagt t.d. í C.R. 83, 196-198, 1876.
- Girard J. (1875) La minéralogie microscopique. *La Nature* 3(I), 388-389. Sjá einnig 1, 365, 1873 og C.R. 79, 309-310, 1874.
- Giraud-Teulon F. (1875) Sur une nouvelle méthode et sur un nouvel instrument de télémétrie (mesure rapide des distances). *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 80, 1379-1381.
- Gísli Arason (2004) Silfurberg unnið í Hoffelli (viðtal). *Skaftfellingur* 17, 75-82.
- Gladstone J.H. (1864) On essential oils. Part 1. *J. Chem. Soc.* 17, 1-21.
- Glan P. (1870) Ueber die Absorption des Lichtes. *Ann. Phys.* 141, 58-83.
- Glan P. (1874) Über die Intensität des vom Glase reflectirten Lichtes. *Monatsber. Akad. Wiss. Berlin* 1874, 511-516.
- Glan P. (1877) Ueber ein neues Photometer. *Ann. Phys.* 1, 351-360. Um endurbót á þessum mæli, sjá grein eftir W. Zenker í *Zeitschr. Instrumentenk.* 4, 83-87, 1884.
- Glan P. (1880) Ueber einen Polarisator. *Carls Repertorium für Experimentalphysik* 16, 570-573, viðbót í 17, 195, 1881.
- Glan P. (1881) Ueber Apparate zur Untersuchung der Farbenempfindungen. *Pflügers Arch. Physiol.* 24, 307-328. Um nýtt prófunartæki, notað í grein P.G. í 39, 53-61, 1886.
- Glan P. (1891) Ein Spectrosaccharimeter. *Ann. Phys.* 93, 441-448.
- Glan P. (1893) Ueber die Änderung der Intensität des parallel der Einfallsebene polarisirten Lichtes durch Reflexion an Glas. *Ann. Phys.* 50, 590-594.
- Glaser L.C. (1924) Metallographie im polarisierten Licht. *Zeitschr. Techn. Phys.* 5, 253-260.
- Glazebrook R.T. (1878) An experimental investigation into the velocities of normal propagation of plane waves in a biaxial crystal, with a comparison of the results with theory. *Proc. Royal Soc.* 27, 496-502. Nánar í *Phil. Trans.* 170, 287-377, 1880.
- Glazebrook R.T. (1880a) Double refraction and dispersion in Iceland spar: an experimental investigation, with a comparison with Huygens' construction for the extraordinary wave. *Phil. Trans. Royal Soc.* 171, 421-449. Stytt í *Proc. Royal Soc.* 29, 202-205, 1879.
- Glazebrook R.T. (1880b) Notes on Nicol's prism. *Phil. Mag.* 10, 247-254.

- Glazebrook R.T. (1882) On the refraction of plane polarized light at the surface of a uniaxial crystal. *Phil. Trans. Royal Soc.* 173, 595-620. Í viðbót í *Proc. R.S.* 34, 393-394, 1882-83 segir hann mælitæki sín hafa verið gölluð.
- Glazebrook R.T. (1883a) On polarizing prisms. *Phil. Mag.* 15, 353-361.
- Glazebrook R.T. (1883b) On a spectrophotometer. *Proc. Camb. Philos. Soc.* 4, 304-308. Þessu tæki er hælt í grein um mælingar á blóði eftir S. Lea í *J. Physiol.* 1885, en Krüss og Krüss 1909 segja það „recht unpraktisch“.
- Glazebrook R.T. (1885) Report on optical theories. *British Assoc. Report* 55, 157-261. Viðamikild yfirlit.
- Glazebrook R.T. (1888, 1889) On the application of Sir W. Thomson's theory of a contractile aether to double refraction, dispersion, metallic reflexion, and other optical problems. *Phil. Mag.* 26, 521-540. On the reflexion and refraction of light at the surface of a crystal on the quasi-labile aether theory. 28, 110-117.
- Glazebrook R.T. (1903) Theoretical optics since 1840. A survey. *Phil. Mag.* 5, 537-543.
- Glazebrook R.T., ritstj. (1923) *Dictionary of Applied Physics*, vol. IV. Macmillan & Co., London, 914 bls.
- Godard L. (1886) Double lunette photométrique à lumière polarisée. *Soc. Phys. Séances* 1886, 83-84. Ljósætlar af þessari tegund eru auglýstir í verðlista Pellins 1899.
- Goldschmidt V. (1907) Ueber Composite, Composit-Zwillinge und Viellinge. *Zeitschr. Krystallogr.* 43, 347-355.
- Goldschmidt V. (1913) *Atlas der Krystallformen*, Band 2. Carl Winter, Heidelberg.
- Goldschmidt V. og F.E. Wright (1903, 1904) Ueber Aetzfiguren, Lichtfiguren und Lösungskörper, mit Beobachtungen am Calcit. *N. Jahrb. Mineral., Beilage.* 17, 355-390. Framhald í *Beilageband* 18, 335-376. Með ítarlegri ritskrá um fyrri rannsóknir.
- Goldschmidt V.M. (1912) Über die Winkelveränderung der Krystalle bei tiefen Temperaturen. *Zeitschr. Krystallogr.* 51, 1-27.
- Goldschmidt V.M. (1920) Compound of titanium and process for the manufacture of same. *Bandarískt einkaleyfi* no. 1,348,129, 6 bls. Sjá einnig einkaleyfi no. 1,343,447 og 1,343,469 veitt sama ár, og 1,389,191 veitt 1921.
- Goldstein R. (1986) Electro-optic devices in review. *Lasers and Applications*, apríl-hefti, 6 bls.
- Goodwin H.M. og R.D. Mailey (1906) On the physical properties of fused magnesium oxide. *Phys. Rev.* 23, 22-30.
- Gottling P.F. (1923) The determination of the time between excitation and emission for certain fluorescent solids. *Phys. Rev.* 22, 566-573.
- Gouy L.G. (1876) Recherches photométriques sur les flammes colorées. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 83, 269-272. Viðbætur í 85, 70-72, 1877 og 86, 878-880, 1078-1080, 1878.
- Gouy L.G. (1879) Recherches photométriques sur les flammes colorées. *Ann. Chim.* 18, 5-101, 1879.
- Govi G. (1860a,b) Note sur un photomètre analyseur. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 50, 156-158. De la polarisation de la lumière par diffusion. 51, 360-361 og 669-670.
- Govi G. (1880) Sur une nouvelle expérience destinée à montrer le sens de la rotation imprimée par les corps à la lumière polarisée. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 91, 517-519.
- Grabau M. (1938) Polarized light enters the world of everyday life. *J. Appl. Phys.* 9, 215-225.
- Graff K. (1931) Eine neue Kolorimeterform für Sternmessungen. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 140(2a), 481-484. Miklu af mælingum með þessu tæki er lýst í 142(2a).
- Grailich J. (1853) Bestimmung der Zwillinge in prismatischen Krystallen mit Hilfe des polarisirten Lichtes. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 10, 193-210. Framhald með útleiðslum um hreyfingu ljóssins er í 11, 817-841 og 12, 230-263, 1854.
- Grailich J. (1856) Ueber die Brechung und Reflexion des Lichts an Zwillingsflächen optisch-einaxiger vollkommen durchsichtiger Medien. *Denkschr. Akad. Wiss. Wien* 9(2), 57-120 og 11(2), 41-59, sögulegt yfirlit og fræðileg útleiðsla. Útdráttur og nokkrar mælingar á silfurbergi eru í *Ann. Phys.* 28, 203-214.
- Grailich J. (1858) *Krystallographisch-optische Untersuchungen*. E. Hölzel, Wien, 236 bls. Sjá Mynd 17-1.
- Grailich J. og F. Pekárek (1854) Das Sklerometer, ein Apparat zur genaueren Messung der Härte der Krystalle. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 13, 410-436.

- Gramont A. de (1909) Recherches sur les spectres de dissociation dans la partie visible et dans l'ultra-violet. *Ann. Chim.* 17, 437-477.
- Grattan-Guinness I. (1990) *Convolutions in French Mathematics, 1800-1840*, vols. I-III, 1601 bls. Sjá einnig bók hans *The Mathematical Sciences (í ritröðinni The Fontana History of Science)*, Fontana Press, London 1997.
- Green G. (1842a,b) On the laws of reflexion and refraction of light at the common surface of two non-crystalline media. *Trans. Camb. Philos. Soc.* 7, 1-24, 113-120. On the propagation of light in crystallized media. 7, 121-140.
- Greenwood H.C. (1909) An approximate determination of the boiling points of metals. *Proc. Royal Soc.* A82, 396-408.
- Greenwood J.N. (1918) Applications of optical pyrometry in steel works practice. *Trans. Faraday Soc.* 13, 295-308.
- Griffiths J.H.E. (1934) The mean lives of excited neon atoms. *Proc. Royal Soc.* A143, 588-604. The mean lives of excited hydrogen atoms, A147, 547-555.
- Grimaux E. (1881) Sur le pouvoir rotatoire de la codéine artificielle. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 92, 1228-1229. Sjá einnig 1140-1143 og *Ann. Chim.* 27, 273-288, 1882.
- Grimsehl E. (1905) Neue Apparate und Versuchsanordnungen für die Polarisation des Lichtes. *Zeitschr. Phys. Chem. Unterricht* 18, 321-331.
- Grosse W. (1887) Ueber eine neue Form von Photometern. *Zeitschr. Instrumentenk.* 7, 129-145. Framhald í 8, 95-102 og 129-135, 1888. Sjá einnig H. Krüss í 8, 347-353.
- Grosse W. (1890) Ueber Polarisationsprismen. *Zeitschr. Instrumentenk.* 10, 445-446.
- Groth P. (1871) Ueber Apparate und Beobachtungsmethoden für krystallographisch-optische Untersuchungen. *Ann. Phys.* 144, 34-55.
- Groth P. (1885, 1905) *Physikalische Krystallographie*, 2. og 4. útg. W. Engelmann, Leipzig, 710 og 811 bls.
- Groth P. (1926) *Entwicklungsgeschichte der Mineralogischen Wissenschaften*. J. Springer, Berlin, 261 bls.
- Grünbaum F. (1903) Absorptionsmessungen an wässerigen Farbstofflösungen. *Ann. Phys.* 12, 1004-1011.
- Grünwald J. (1902) Über die Ausbreitung elastischer und elektromagnetischer Wellen in einaxig-krystallinischen Medien. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 111, 411-485.
- Guðmundur Gíslason Hagalín (1970) *Eldur er beztur. Saga Helga Hermanns Eiríkssonar og aldahvarfa í íslenzkri iðnþróun*. Iðunn, Reykjavík, 283 bls.
- Guðmundur Jónsson Hoffell (1946) *Skaftfellskar þjóðsögur og sagnir ásamt sjálfsvísögu höfundar. Þorsteinn M. Jónsson, Akureyri*, 324 bls. Sjá einnig viðtal við Helga son hans í ritsafninu *Aldnir hafa orðið*, 8. bindi 1979.
- Guldberg C.M. og P. Waage (1864) *Studier over affiniteten I-III. Forhandlinger i Videnskabs-selskabet i Christiania* 1864, 35-45, 92-94, 111-120. Sjá Ostwald 1884.
- Gullstrand A. (1906) Die Farbe der Macula centralis retinae. *Graefes Arch. Ophthalmol.* 62, 1-72.
- Gumlich E. (1898) Rotationsdispersion und Temperaturcoefficient des Quarzes. *Ann. Phys.* 64, 333-359.
- Guthnick P. (1910) Ergebnisse aus photometrischen Messungen der Saturntrabanten. 1. Über den Lichtwechsel von Japetus. *Beob.-Ergebn. Kön. Sternw. Berlin* No. 14, 65 bls.
- Gutton C. (1911a) Comparaison des vitesses de propagation de la lumière et des ondes électromagnétiques le long des fils. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 152, 685-688 og 153, 1002-1004.
- Gutton C. (1911b) Expériences sur la vitesse de la lumière dans les milieux réfringents. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 152, 1089-1091.
- Guye C.-E. (1889) Sur le pouvoir rotatoire du chlorate de soude cristallisé. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 108, 348-350.
- Guye Ph.-A. (1892) Étude sur la dissymétrie moléculaire. *Ann. Chim.* 25, 145-226.
- Guye Ph.-A. og L. Chavanne (1896) Étude sur la dissymétrie moléculaire. Deuxième mémoire. *Arch. Sci. Phys. Nat.* 1, 54-76, 121-158.

- Gümbel C.W. (1880) Das Verhalten der Schichtgesteine in gebogenen Lagen. Sitzungsber. Bayer. Akad. Wiss., Math.-Phys. Klasse, 4, 596-623. Útdráttur í N. Jahrb. Mineral. 1882(1), 221-223.
- Gårding L. (1989) History of the mathematics of double refraction. Arch. Hist. Exact Sci. 40, 355-385.
- Haase M. (1936-39) Dichroitische Kristalle und ihre Verwendung für Polarisationsfilter. Zeiss Nachrichten, 2. Folge, 55-64.
- Haensch H. (1889) Die Schwierigkeiten bei Beschaffung von Doppelspath. Zeitschr. Instrumenk. 9, 391-393.
- Hagen G. (1925) Versuche über den Comptoneffekt. Ann. Phys. 78, 407-420.
- Hagen O. (1859) Ueber die Absorption des Lichtes in Krystallen. Ann. Phys. 106, 33-55.
- Haidinger W. (1844) Ueber das directe Erkennen des polarisirten Lichts und der Lage der Polarisationsebene. Ann. Phys. 63, 29-39, og fleiri greinar um þetta næsta áratuginn. Nefnir þarna dichroskop, og er með einfalda mynd af því í grein bls. 147-152.
- Haidinger W. (1845) Ueber den Pleochroismus der Krystalle. Ann. Phys. 65, 1-30. Lýsir dichroskopi sínu, en svipuðu tæki virðist þó hafa verið lýst fyrr, af H.J. Brooke í Am. J. Sci. 15, 369-372, 1829. Viðbót: Ueber die dichroskopische Loupe, Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 1, 70-75, 1848.
- Haidinger W. (1853) Über die von Herrn Dr. Herapath und Herrn Prof. Stokes in optischer Beziehung untersuchte Jod-Chinin-Verbindung. Ann. Phys. 89, 250-258. Nánar um þetta efni og ljóseiginleika þess í 90, 616-622.
- Haidinger W. (1855a) Die Richtung der Schwingungen des Lichtaethers im polarisirten Lichte. Ann. Phys. 172, 287-305. Sjá einnig Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 15, 6-17 og 86-90. Var áður kynnt í Sitzungsber. 8, 52-63, 1852.
- Haidinger W. (1855b) Herapathit-Zangen, geschenkt von Herrn Professor v. Nörrenberg. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 15, 82-85.
- Hakenbeck E. (1929) Über polarisierte Fluorescenz. Ann. Phys. 1, 457-496.
- Hale G.E. (1908) On the probable existence of a magnetic field in sunspots. Astrophys. J. 28, 315-343. Sjá einnig grein C.G. Abbots í ársskýrslu Smithsonian-stofnunarinnar 1908.
- Hale G.E. (1913) Preliminary results of an attempt to detect the general magnetic field of the Sun. Astrophys. J. 38, 27-98. Nánari umfjöllun um tæki sem notuð voru, er í grein eftir F. H. Seares, 99-125.
- Hale G.E. og S.B. Nicholson (1925) The law of sun-spot polarity. Astrophys. J. 62, 270-300. Útdráttur í Nature 113 (Suppl.), 105-112, 1924.
- Hall A.R. (1993) All was Light. An Introduction to Newton's *Opticks*. Clarendon Press, Oxford, 252 bls.
- Hall E.H. (1881) On the „rotational coefficient“ in nickel and cobalt. Phil. Mag. 12, 157-172. Framhald í 15, 341-346, 1883.
- Hall T.P. (1892) Direct reflecting polariscopes. Science 19, 323.
- Halle B. (um 1895) Preis-Liste von Bernhard Halle Optische Werkstatt, Steglitz bei Berlin, 19 bls. Sjá *Mynd* 32-2.
- Halle B. (1921) Handbuch der Praktischen Optik, 2. útg. Verlag der Zeitschr. f. Feinmechanik, Berlín, 136 bls.
- Halle G. (1910) Neuer Hand-Demonstrationsapparat für alle Erscheinungen der Doppelbrechung im Kalkspat. Zeitschr. Krystallogr. 47, 376-377.
- Haller A. (1892) Contribution à l'étude des camphols et des camphres. Ann. Chim. 27, 392-432.
- Hallimond A.F. (1944) Use of „Polaroid“ for the microscope. Nature 154, 369-371.
- Hallimond A.F. og E.W. Taylor (1946) An improved polarizing microscope. Mineral. Mag. 27, 175-185. Framhald kom í 28 og 29.
- Hamberg A. (1890) Bemerkungen über den Einfluss, welches die Konzentration des Ätzmittels auf die Umgestaltung eines Krystalles beim Ätzen ausübt. Geol. Fören. Förh. 12, 617-632.
- Hámos L. v. (1930) Optische Untersuchung der Funkenzündung in Luft von Atmosphärendruck mittels des Kerreffektes. Ann. Phys. 7, 857-888.

- Hankel W.G. (1862) Messungen über die Absorption der chemischen Strahlen des Sonnenlichtes. Abh. Sächs. Gesellsch. Wiss. 6, 54-90.
- Hanle W. (1924) Über magnetische Beeinflussung der Polarisation der Resonanzfluoreszenz. Zeitschr. Phys. 30, 93-105.
- Hanle W. (1926) Die elektrische Beeinflussung der Polarisation der Resonanzfluoreszenz von Quecksilber. Zeitschr. Phys. 35, 346-364.
- Hanle W. (1931) Über eine Anomalie bei der Polarisation der Ramanstrahlung. Naturwissensch. 19, 375. Sjá einnig samnefnda grein eftir R. Bär á bls. 463.
- Hansen G. (1925) Die Feinstruktur der Balmerlinien. Ann. Phys. 78, 558-600.
- Hantzsch A. og A. Werner (1890) Ueber räumliche Anordnung der Atome in stickstoffhaltigen Molekülen. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 23, 11-30. Meira 1243-1253, 2764-2769 og 2769-2773.
- Harden A. og W.J. Young (1913) The enzymatic formation of polysaccharides by yeast preparations. Biochem. J. 6, 630-636.
- Hardy A.C. (1935) A new recording spectrophotometer. J. Opt. Soc. Am. 25, 305-311.
- Hardy A.C. (1938) History of the design of the recording spectrophotometer. J. Opt. Soc. Am. 28, 360-364, og á bls. 365-371 er lýsing á tækinu eftir J.L. Michaelson.
- Hári P. (1917) Beiträge zur Lichtabsorption des Oxyhämoglobins. Biochem. Zeitschr. 82, 229-281.
- Harkányi B. (1902) Ueber die Temperaturbestimmung der Fixsterne auf spectralphotometrischem Wege. Astron. Nachr. 158, 17-24. Meira kennilegt um þetta eftir hann er í 185, 33-48, 1910.
- Harrington W.F., P. Johnson og R.H. Ottewill (1956) An improved method for measuring degree of polarization. Biochem. J. 63, 349-352. Sjá einnig Weber 1952.
- Harrison W. (1918) Investigations on textile fibres. Proc. Royal Soc. A94, 460-469.
- Hartley W.N. (1881) On the absorption of solar rays by atmospheric ozone. J. Chem. Soc. Trans. 39, 111-128.
- Hartley W.N. (1882) Note on certain photographs of the ultra-violet spectra of elementary bodies. J. Chem. Soc. Trans. 41, 84-90.
- Hartley W.N. (1883) Description of the instruments and processes employed in photographing ultraviolet spectra. Sci. Proc. Royal Dublin Soc. 3, 93-107.
- Hartnack E. og A. Prazmowski (1866) Prisme polarisateur. Ann. Chim. 7, 181-189.
- Hartshorne N.H. og A. Stuart (1950) Crystals and the Polarising Microscope, 2. útg. E. Arnold, London, 473 bls.
- Hasert B. (1861) Verbesserte Construction des Nicol'schen Prismas. Ann. Phys. 113, 188-190.
- Hastings C.S. (1888) On the law of double refraction in Iceland spar. Am. J. Sci. 35, 60-73.
- Hauer F. v. og J.v. Kowalski (1914) Zur Photometrie der Lumineszenzerscheinungen. Phys. Zeitschr. 15, 322-327.
- Hauschild H. (1920) Beiträge zur Kenntnis der Oberflächenschichten auf Metallen. Ann. Phys. 63, 816-844.
- Haushofer K. (1865) Ueber den Asterismus und die Brewster'schen Lichtfiguren am Calcit. Habilitationsschrift, München. Tilvitnað af Baumhauer 1870.
- Hautefeuille P. (1880) Sur la reproduction de quelques minéraux et sur une nouvelle méthode pour obtenir des combinaisons cristallisées par la voie sèche. Ann. Sci. Éc. Norm. Sup. 9, 363-408.
- Hauy R.J. (1782) Extrait d'un mémoire sur la structure des spathes calcaires. J. Phys. 20, part 2, 33-39. Sama ár birtist einnig svipuð grein hans um granat.
- Hauy R.J. (1784) Essai d'une Théorie sur la Structure des Crystaux. Gougué & Née, Paris, 236 bls. Síðar kom út Exposition abrégée de la théorie sur la structure des cristaux (sérprent úr J. Hist. Naturelle), Paris 1792, 52 bls.
- Hauy R.J. (1785) Mémoire sur les propriétés électriques de plusieurs minéraux. Mém. Acad. Sci. 1785, 206-209.
- Hauy R.J. (1788) Mémoire sur la double réfraction du spath d'Islande. Mém. Acad. Sci. 1788, 34-61. Einnig í Ann. Chim. 17.

- Hauy R.J. (1793) Sur la double réfraction de plusieurs substances minérales. *Ann. Chim.* 17, 140-156.
- Hauy R.J. (1798) On the theory of structure of crystals: The Abbé Hauy's theory of crystallization. *Phil. Mag.* 1, 35-46, 153-169, 287-303, 376-392. Þýtt úr *Ann. Chim.* 17.
- Hauy R.J. (1799) Account of a short method of representing the different crystalline forms by very short signs, expressing the law of decrement to which their structure is subjected. *Phil. Mag.* 2, 398-413 (þýtt úr *J. Mines* 1796, 15-36).
- Hauy R.J. (1800) Sur la double réfraction du spath calcaire transparent. *Séances École Normale III (App.)*, 1-16, 16-30.
- Hauy R.J. (1801) *Traité de Minéralogie*, fimm bindi. Conseil des Mines, Paris. Útdráttur birtist í *J. Mines* 1797. 2. útgáfa kom 1822, árið sem Hauy lést, sömuleiðis *Traité de Cristallographie* í þrem bindum.
- Hauy R.J. (1803) *Traité Élémentaire de Physique I-II*. 426+447 bls., Paris. 2. útgáfa kom 1806.
- Hauy R.J. (1815) Mémoire sur une loi de la cristallisation, appelée loi de symétrie. *Mém. Mus. Nat. Hist. Nat.* 1, 81-101, 206-225, 273-298, 341-352 (tilvitnað af Lima-de-Faria 1990), útdráttur í *Bull. Soc. Philom.*, Ser. 2, 32-34.
- Hauy R.J. (1817) Sur l'électricité produite dans les minéraux à l'aide de la pression. *Ann. Mines* 2, 59-64. Spath d'Islande er áberandi þar.
- Havens W.W., L.J. Rainwater, C.S. Wu og J.R. Dunning (1948) Slow neutron velocity spectrometer studies of Cu, Ni, Bi, Fe, Sn, and calcite. *Phys. Rev.* 73, 963-972.
- Havighurst R.J. (1926) The intensity of reflection of X-rays by powdered crystals II. The effect of crystal size. *Phys. Rev.* 28, 882-890. Sjá líka *Proc. Nat. Acad. Sci.* 12, 375-380 og 477-479, R.J.H. nefnir þar að geislar sem endurvarpist frá kalkspati séu mjög mjóir.
- Haworth W.N. og J. Law (1916) The constitution of the disaccharides. Part I. The structure of sucrose. *J. Chem. Soc. Trans.* 109, 1314-1325.
- Haworth W.N. og E.L. Hirst (1930) The structure of carbohydrates and their optical rotatory power. Part I. General Introduction. *J. Chem. Soc.* 1930, 2615-2635.
- Haworth W.N., E.L. Hirst og D.A. Ruell (1923) The constitution of raffinose. *J. Chem. Soc. Trans.* 123, 3125-3131.
- Hecht S. og R.E. Williams (1922) The visibility of monochromatic radiation and the absorption spectrum of visual purple. *J. Gen. Physiol.* 5, 1-33.
- Hecht S. og S. Slaer (1936) The color vision of dichromats. *J. Gen. Physiol.* 20, 57-82.
- Heidenhain H. (1896) On the determination of carbon dioxide by absorption. *Am. Chem. J.* 18, 1-7.
- Helgi H. Eiríksson (1920) The spar-mine at Helgustadir, Iceland. *Trans. Inst. Mining Eng.* 59, 56-63.
- Helgi H. Eiríksson (1922) Silfurbergsnáman á Helgustöðum. *Tímarit Verkfræðingafél. Íslands* 8, 62-68.
- Helgi H. Eiríksson (1930) Iðja á Íslandi. *Tímarit Verkfræðingafél. Íslands* 15, 38-42.
- Helgi H. Eiríksson (1943) Silfurberg. Kaffli í II. bindi *Iðnsögu Íslands*, ritstj. Guðmundur Finnbogason, 74-80. Iðnaðarmannafélagið, Reykjavík.
- Helland A. (1884) Studier over Íslands petrografi og geologi. *Archiv f. Mathematik og Naturvidenskab* 9, 69-154. Um silfurbergsnámuna bls. 152-154, Pl. III.
- Hellerich J.H. (1937) Visuelle Photometrie. Kaffli í *Wien-Harms Handbuch der Experimentalphysik*, Band 26 (Astrophysik, ritstj. B. Strömgen), 565-646.
- Helmholtz H. v. (1892) Elektromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1892(II), 1093-1109.
- Henri V. (1901) Über das Gesetz der Wirkung des Invertins. *Zeitschr. Physikal. Chemie* 39, 194-216.
- Hering E. (1890) Eine Methode zur Beobachtung des Simultancontrastes. *Pflügers Arch. Physiol.* 47, 236-242.
- Hering E. (1905) Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn. Bók, tilvitnuð í 1921-verðlista frá Spindler & Hoyer sem bjóða ljósmæli (Photopolarimeter nach Hering) til rannsóknna á ljósskynjun.

- Herschel J.F.W. (1820) On the action of crystallized bodies on homogeneous light, and on the causes of the deviation from Newton's scale in the tints which many of them develop on exposure to a polarised ray. *Phil. Trans. Royal Soc.* 110, 45-100.
- Herschel J.F.W. (1822) On the rotation impressed by plates of rock crystal on the planes of polarization of rays of light, as connected with certain peculiarities in its crystallization. *Trans. Cambr. Philos. Soc.* 1, 43-52. Endursögn í *Ann. Phys.* 21, 288-290, 1831. Sjá einnig grein eftir H.W. Dove í *Ann. Phys.* 40, 607-621, 1837.
- Hertel K.L. (1927) A study of the polarization of the light from hydrogen canal rays. *Phys. Rev.* 29, 848-856.
- Hertz H. (1888) Über Strahlen elektrischer Kraft. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1888(II), 1297-1307.
- Herzog A. (1909) Zur Kenntnis der Doppelbrechung der Baumwollfaser. *Kolloid-Zeitschr.* 5, 246-248.
- Hesse O. (1876) Studien über das Drehungsvermögen der wichtigeren Chinaalkaloide. *Liebigs Ann. Chem.* 182, 128-159. Hesse birti mikinn fjölda greina um alkaloid-efni í þýskum og frönskum ritum, á a.m.k. 35 ára bili.
- Hessenberg F. (1866, 1872, 1874) Mineralogische Notizen, um silfurberg frá Íslandi. *Abhandlungen Senckenb. Naturf. Gesellsch.* Notiz no. 7 í Band 6, 1-4, Notiz no. 11 í Band 8, 415-423, Notiz no. 12 í Band 10, 13-16 (að F. H. látnum). Myndasíður fylgja. Vitnað er til greinanna og athugana Des Cloizeaux á íslensku silfurbergi af t.d. G. vom Rath í *Ann. Phys.* 152, 19-20 og 155, 48-50, 1874, og af Irby 1878. Sjá Purgold 1881.
- Heys H.L. (1952) *Physical Chemistry for Schools and Colleges.* Harrap, London, 453 bls.
- Higel F. (1883) Glucose and grape sugar. *Manufacturer and Builder* 15, bls. 18 og 46.
- Hildebrand J. (1908) Das Königsche Spektralphotometer in neuer Anordnung, und seine Verwendung zur Bestimmung chemischer Gleichgewichte. *Zeitschr. Elektrochem.* 14, 349-353.
- Hildebrandt G. (1995) Early experimental proofs of the dynamical theory. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 28, A8-A16.
- Hildebrandt G. (2002) How discoveries are made – or some remarks on the discovery of the Borrmann effect. *Crystal Res. Technol.* 37, 777-782.
- Hill B.V. (1899) Accidental double refraction in liquids. *Phil. Mag.* 48, 485-498.
- Hiltner R.S. og R.W. Thatcher (1901) An improved method for the estimation of sugar in beets. *J. Am. Chem. Soc.* 23, 299-318.
- Hinrichsen F.W. (1901, 1902) Über das Verbindungsgewicht des Calciums. *Zeitschr. Physikal. Chemie* 39, 311-322 og 40, 746-749.
- Hintze C. (1930) *Handbuch der Mineralogie*, ritstjóri G. Linck, Erster Band, Dritte Abteilung, Erste Hälfte. Nitrate, Jodate, Karbonate, Selenite, Tellurite, Manganite, Plumbate, 2675-3656. W. de Gruyter & Co., Berlin og Leipzig.
- Hirschwald J. (1904) Ueber ein neues Mikroskopmodell und ein „Planimeter-Ocular“ zur geometrischen Gesteinsanalyse. *Centralbl. Mineral.* 1904, 626-633.
- Hochstetter F. (1854) Das Kalkspath-System, seine Deduction, Projection und Vergleichung mit der Entwicklung des Tesserall-Systems in rhomboëdrischer Stellung. *Denkschr. Akad. Wiss. Wien* 6. Útdráttur í *Sitzungsber.* 9, 830-833, 1852.
- Hoff J.H. van't (1874) Sur les formules de structure dans l'espace. *Arch. Néerl.* 9, 445-454. Nánar t.d.: Ueber den Zusammenhang zwischen optischer Aktivität und Constitution. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 10, 1620-1623, 1877.
- Holmes W.C. (1923) The spectrophotometric identification of dyes. I. Acid dyes of the Patent Blue type. *Ind. Eng. Chem.* 15, 833-836.
- Honess A.P. (1918) On the etching figures of the dihexagonal alternating type. *Am. J. Sci.* 45, 201-221.
- Hoskyns-Abrahall J.L. (1892) A visit to the calcite quarry in Iceland. *Mineral. Mag.* 9, 179-181.
- Houben-Weyl (1955) *Methoden der Organischen Chemie*, 4. útg., ritstj. E. Müller. Band III, *Physikalische Forschungsmethoden.* G. Thieme Verlag, Stuttgart, 954 + 1078 bls.
- Houstoun R.A. (1906) Untersuchungen über den Einfluss der Temperatur auf die Absorption des Lichtes in isotropen Körpern. *Ann. Phys.* 21, 535-573.

- Houstoun R.A. (1908) A new spectrophotometer of the Hüfner type. *Phil. Mag.* 15, 282-287.
- Houstoun R.A. (1918) A statistical survey of colour vision. *Proc. Royal Soc.* A94, 576-586. Framhald í A102, 353-360, 1922.
- Houstoun R.A. (1927) *A Treatise on Light*. 5. útg. Longmans, Green & Co., London, 489 bls.
- Houstoun R.A. og A.R. Brown (1911) The absorption of light by inorganic salts II. Aqueous solutions of cobalt salts in the visible spectrum. *Proc. Royal Soc. Edinb.* 31, 530-537.
- Hudson C.S. (1908) The inversion of cane sugar by invertase. *J. Am. Chem. Soc.* 30, 1160-1166, 1564-1583.
- Hudson C.S. (1910a) The quantitative determination of cane sugar by the use of invertase. *J. Ind. Eng. Chem.* 2, 143-146.
- Hudson C.S. (1910b) A review of discoveries on the mutarotation of the sugars. *J. Am. Chem. Soc.* 32, 889-894.
- Hüfner G. (1877) Ueber quantitative Spectralanalyse und ein neues Spectrophotometer. *J. Prakt. Chemie* 16, 290-313.
- Hüfner G. (1889) Über ein neues Spectrophotometer. *Zeitschr. Physikal. Chemie* 3, 562-571.
- Hüfner G. og R. Külz (1883) Untersuchungen zur physikalische Chemie des Blutes. *J. Prakt. Chemie* 28, 256-269. Meira frá G.H. um þetta í 30, 68-84, 1884.
- Huggins W. (1877) Note on the photographic spectra of stars. *Proc. Royal Soc.* 25, 445-446. Einnig í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 83, 1229-1230, 1876.
- Huggins W. (1880a) On the photographic spectra of stars. *Phil. Trans. Royal Soc.* 171, 669-690. Útdráttur í *Proc. Royal Soc.* 30, 20-22, 1879 og *Nature* 21, 269-270, 1880.
- Huggins W. (1880b) Sur le spectre lumineux de l'eau. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 90, 1455-1456.
- Huggins W. (1889) On the limit of solar and stellar light in the ultra-violet part of the spectrum. *Proc. Royal Soc.* 46, 133-135.
- Huggins W. (1895) The Tulse Hill ultra-violet spectroscopy. *Astrophys. J.* 1, 359-365.
- Huggins W. og M. Huggins (1890) On a new group of lines in the photographic spectrum of Sirius. *Proc. Royal Soc.* 48, 216-217.
- Huggins W. og M. Huggins (1899) *An Atlas of Representative Stellar Spectra*. W. Wesley & Son, London.
- Hughes A.L. (1916) On the velocities of the electrons emitted in the normal and selective photo-electric effects. *Phil. Mag.* 31, 100-107.
- Hughes H.H. (1931) Iceland Spar and Optical Fluorite, U.S. Bureau of Mines Information Circular 6468, 17 bls. Einnig hef ég séð vitnað í þessa greinargerð sem 6468R (endurútgáfu?) 1941, 19 bls.
- Hughes H.H. (1937) Iceland spar and other crystals of related use. *Kaflí í: Industrial Minerals and Rocks*, ritstj. S. H. Dolbear o.fl., 389-394, útg. Am. Inst. Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers (A.I.M.E.), New York.
- Hupfeld H.-H. (1929) Die Nachleuchtdauern der J₂-, K₂-, Na₂- und Na-Resonanzstrahlung. *Zeitschr. Phys.* 54, 484-497.
- Hurion A. (1896) Sur la polarisation de la lumière diffusée par les milieux troubles. Application à la polarisation atmosphérique. *Ann. Chim.* 7, 456-495. Stutt kynning í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 112, 1431-1434, 1891 og 116, 795-797, 1893.
- Hüttel A. (1940) Eine Methode zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit unter Anwendung des Kerreffektes und einer Photozelle als phasenabhängigen Gleichrichter. *Ann. Phys.* 37, 365-402.
- Huxley A.F. (1957) *Das Interferenz-Mikroskop und seine Anwendung in der biologischen Forschung*. Naturwissensch. 44, 189-196.
- Huyghens C. (1690) *Traité de la Lumière où sont Expliquées ... et Particulièrement dans l'Étrange Réfraction du Cristal d'Islande*. P. van der Aa, Leiden, 125 bls. Ensk þýðing S.P. Thompsons er m.a. á bls. 545-619 í 34. bindi bókaflöksins *Great Books of the Western World*, útg. af *Encyclopaedia Britannica*, Chicago 1952.

Ievins A. og M. Straumanis (1940) Die Gitterkonstanten des Kalkspats, bestimmt nach der Drehkristallmethode. Zeitschr. Phys. 116, 194-206. Sjá einnig 126, 49-64, 1949, og Phys. Rev. 92, 1155-1157, 1953. Um mælingu á mangan í silfurbergi er nánar rætt af M. S. og A. Dravnieks í Zeitschr. Anal. Chemie 120, 168-177, 1940.

Ingersoll L.R. (1906) An improved method of measuring the infra-red dispersion of magnetic rotation; and the magnetic rotatory dispersion of water. Phys. Rev. 23, 489-497.

Ingersoll L.R. (1910) The dispersion of metals in the infra-red spectrum. Astrophys. J. 32, 265-290.

Ingersoll L.R. (1917) Natural and magnetic rotatory dispersion in the infra-red spectrum. Phys. Rev. 9, 257-268.

Ingersoll L.R. (1921) The glarimeter. J. Opt. Soc. Am. 5, 213-217. Bandarískt einkaleyfi no. 1,225,250 fyrir þessu tæki var veitt L.R.I. 1917.

Ingersoll L.R. og S.S. De Vinney (1925) Non-magnetic films of nickel. Phys. Rev. 26, 86-91.

Irby J.R.McD. (1878) On the Crystallography of Calcite. Doktorsritgerð við Göttingen-háskóla, útgefin af v. Marcus, Bonn. Endursögn í Zeitschr. Krystallogr. 3, 612-626, 1879.

Ives H.E. (1917) A polarization flicker photometer and some data of theoretical bearing obtained with it. Phil. Mag. 33, 360-380.

Ives H.E. (1924) Photo-electric properties of thin films of alkali metals. Astrophys. J. 60, 209-230.

Jäger E. og G. Krüss (1888) Zur volumetrischen Bestimmung der Kohlensäure in Karbonaten. Zeitschr. Anal. Chem. 27, 721-724.

Jaeger F.M. og H. Haga (1916) On the Röntgen-patterns of isomorphous crystals. Proc. Koninkl. Akad. Wetensch. Amsterdam, Sect. Sci. 18, 1357-1364.

Jakob Benediktsson (1939) Gísli Magnússon. Safn Fræðafélagsins 11. Hið íslenska fræðafélag í Kaupmannahöfn, Reykjavík, 160 bls.

Jakob Benediktsson (1948) Ole Worm's Correspondence with Icelanders. Bibliotheca Arnarnagana 7. E. Munksgaard, Hafniae, 552 bls.

Jamin J. (1845) Mémoire sur la polarisation métallique. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 21, 430-434. Framhald í 22, 477-480 og 23, 1103-1105, 1846.

Jamin J. (1847) Mémoire sur la réflexion métallique. Ann. Chim. 19, 296-342.

Jamin J. (1850a) Mémoire sur la réflexion à la surface des corps transparents. Ann. Chim. 29, 263-305. Þessi grein er um föst efni, önnur um vökva er í 31, 165-187, 1851.

Jamin J. (1850b) Mémoire sur la double réfraction elliptique du quartz. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 30, 99-101.

Jamin J. (1860) Note sur la théorie de la réflexion et de la réfraction. Ann. Chim. 59, 413-426.

Jamin J. (1868, 1869) Sur un réfracteur différentiel pour la lumière polarisée. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 67, 814-816. Einnig smáklasa í 68, 221 um að nota megí skáþynnu úr silfurbergi í vökva með háum brotstuðli (CS₂) í stað Nicol-prisma.

Jannettaz E. (1873) Sur la propagation de la chaleur dans les corps cristallisés. Ann. Chim. 29, 5-82. Smágreinar voru komnar áður, m.a. í C.R. 75, 1501-1504, 1872.

Javal J. (1905) Étude de la transparence du cuivre pour les rayons visibles et infra-rouges. Ann. Chim. 5, 137-144.

Javal L.E. og H. A. Schiötz (1881) Un ophthalmomètre pratique. Ann. Oculist. 86, 5-21.

Jeancard P. og C. Satie (1901) Les méthodes d'analyse des huiles essentielles. Rev. Phys. Chim. Appl. Ind. 5, 529-536.

Jeanjean F. (1856) Sur l'huile essentielle contenue dans l'alcool de garance. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 42, 857-859 með viðbót J.B. Biots. Framhald í 43, 103-104.

Jellett J.H. (1858-61) A new analyzing prism. Proc. Royal Irish Acad. 7, 348-350, einnig í British Assoc. Report 30, pt. ii, 13, 1860.

- Jellett J.H. (1861-64) On a new optical saccharimeter. Proc. Royal Irish Acad. 8, 279-281. Sjá einnig 1, 167-169 og 475-476, 1873-74.
- Jellett J.H. (1875) Researches in chemical optics. Trans. Royal Irish Acad. 25, 371-450. Þýsk útgáfa kom 1908 í bókaflóknum Ostwald's Klassiker, 83 bls.
- Jellinek K. (1906) Über Zersetzungsgeschwindigkeit von Stickoxyd und Abhängigkeit derselben von der Temperatur. Zeitschr. Anorg. Chemie 49, 229-276.
- Jenkins F.A. og H.E. White (1957) Fundamentals of Optics, 3. útg. McGraw-Hill, New York, 637 bls.
- Jensen C. (1928) Die Himmelsstrahlung. Handbuch der Physik 19, ritstj. H. Koenen, 70-152. Springer, Berlin.
- Jeremejew P. v. (1900) Ueber Zeolithe und Calcit von Island, Zeitschr. Krystallogr. 32, 428-429, endursögn stuttrar greinar í riti akademiunnar í St. Pétersborg 1898.
- Jerrard H.G. (1948) Optical compensators for measurement of elliptical polarization. J. Opt. Soc. Am. 38, 35-59.
- Jobin A. (1922) Le spectrophotomètre Yvon. Revue d'Optique 1, 499-507.
- Johannsen A. (1914) Manual of Petrographic Methods. McGraw-Hill, New York, 649 bls. Endurprentuð 1918 og 1968.
- Johnsen A. (1913) Die Struktureigenschaften der Kristalle. Fortschr. Mineral. 3, 93-140.
- Johnson J. Harlan (1940) Iceland Spar in Taos County, New Mexico. Am. Mineral. 25, 151-152.
- Jones L.A. (1914) Color analyses of two component mixtures. Phys. Rev. 4, 454-466.
- Jones W. (1908) On the identity of the nucleic acids of the thymus, spleen and pancreas. J. Biol. Chem. 5, 1-26.
- Jong W.F. de og E. Stradner (1954-56) Zeittafel (atburðaskrá um þróun fræða varðandi geometriu og byggingu kristalla). Mineral. Petr. Mitt. 5, 362-379.
- Joubin P. (1889) Sur la dispersion rotatoire magnétique. Ann. Chim. 16, 78-144.
- Jungfleisch E. (1873) Sur la synthèse des matières organiques douées du pouvoir rotatoire. Production des acides tartriques droit et gauche, en partant du gaz oléfiant. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 76, 286-290.
- Kapitza P. og H.W.B. Skinner (1925) The Zeeman effect in strong magnetic fields. Proc. Royal Soc. A109, 224-239.
- Karolus A. og O. Mittelstaedt (1928) Die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit unter Verwendung des elektrooptischen Kerr-Effektes. Phys. Zeitschr. 29, 698-702.
- Kastler A. (1930) L'effet Raman dans les liquides doués de pouvoir rotatoire. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 191, 565-566.
- Kastler A. (1931) Non existence d'un spin des photons. J. Phys. Radium 2, 159-164.
- Kauffman G.B. (1968) Classics in Coordination Chemistry, Part 1. Dover Publ., New York, 190 bls. Þetta eru þýðingar á 6 greinum eftir A. Werner, með inngangi að hverri þeirra eftir G.B.K. og skýringum.
- Kayser H. og C. Runge (1888) Ueber die Spectren der Elemente. Anhang, Abh. Akad. Wiss. Berlin 1888, Abhandlung III, 93 bls. Framhald á sama vettvangi næstu ár.
- Keesom W.H. (1911) Spektrophotometrische Untersuchung der Opaleszenz eines einkomponentigen Stoffes in der Nähe des kritischen Zustandes. Ann. Phys. 35, 591-598.
- Kelland P. (1838) On the transmission of light in crystallized media. Trans. Cambr. Philos. Soc. 6, 323-352, ásamt Supplement bls. 353-360.
- Kelland P. (1844) On the plane and angle of polarisation of light reflected at the surface of a crystal. Trans. Royal Soc. Edinb. 15, 37-65.
- Kelley V.C. (1940) Iceland spar in New Mexico. Am. Mineral. 25, 357-367.
- Kellström G. (1927) Präzisionsmessungen in der K-Serie der Elemente Palladium und Silber. Zeitschr. Phys. 41, 516-523.
- Kennedy R.J. (1922) Another ether-drift experiment. Phys. Rev. 20, 26-33.

- Kennedy R.J. (1928) Erindi á ráðstefnu um Michelson-Morley tilraunina. *Astrophys. J.* 68, 367-373. Sjá einnig grein hans í *Proc. Nat. Acad. Sci.* 12, 621-629, 1926, aðra eftir K.K. Illingworth í *Phys. Rev.* 30, 692-696, 1927, og grein eftir R.J.K. og E.M. Thorndike í *Phys. Rev.* 42, 400-418, 1932. G. Joos gerði enn eina tilraun af þessu tagi um 1930.
- Kennedy R.P. (1927) A spectrophotometric study of blood solutions. *Am. J. Physiol.* 79, 346-361.
- Kenngott A. (1892) Gleitflächen am Doppelspath. *N. Jahrb. Mineral.* 1892(1), 219-221.
- Kent C.V. (1919) The optical constants of liquid alloys. *Phys. Rev.* 14, 459-489.
- Kerr J. (1875) A new relation between electricity and light: dielectrified media birefringent. *Phil. Mag.* 50, 337-348, 446-458.
- Kerr J. (1877) On rotation of the plane of polarization by reflection from the pole of a magnet. *Phil. Mag.* 3, 321-343. Sjá einnig B.A. Report 46, 40-41.
- Kerr J. (1878) On reflection of polarized light from the equatorial surface of a magnet. *Phil. Mag.* 5, 161-177.
- Kerr J. (1879) Electro-optic observations on various liquids. *Phil. Mag.* 8, 85-102.
- Kerr J. (1880) Measurements and law in electro-optics. *Phil. Mag.* 9, 157-174.
- Kerr J. (1888) Experiments on the birefringent action of strained glass. *Phil. Mag.* 26, 321-342.
- Kerr J. (1894) Experiments on a fundamental question in electro-optics: reduction of relative retardations to absolute. *Proc. Royal Soc.* 55, 252-265.
- Kessler H. (1926) Polarimetrie. Kafli í: *Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden* (ritstj. E. Abderhalden), Abt. II, Teil 2, Heft 4, 1345-1430. Urban & Schwarzenberg, Berlín.
- Ketteler E. (1872) Ueber den Einfluss der astronomischen Bewegungen auf die optischen Erscheinungen. *Ann. Phys.* 147, 404-429 og 478-479, meira í 148, 435-448, 1873.
- Ketteler E. (1874) Das spezifische Gesetz der sogenannten anomalen Dispersion. *Ann. Phys. Jubelband*, 166-182.
- Ketteler E. (1877) Beiträge zu einer endgültigen Feststellung der Schwingungsebene des polarisirten Lichtes. *Ann. Phys.* 1, 206-247, 556-591.
- Ketteler E. (1881) Experimentaluntersuchung über den Zusammenhang zwischen Refraction und Absorption des Lichtes. *Ann. Phys.* 12, 481-519. Sjá einnig 363-380.
- Ketteler E. (1893) Notiz, betreffend die Möglichkeit einer zugleich den elastisch-optischen wie den electromagnetischen Principien entsprechenden Dispersionsformel. *Ann. Phys.* 49, 382-386, sjá einnig um tvöfalt ljósbrot 509-530.
- Ketteler E. (1895) Ableitung der Gleichungen der electromagnetischen Lichttheorie aus den Erfahrungsthat-sachen der Krystalloptik. *Ann. Phys.* 55, 525-539, 1895, sjá einnig 540-555 og 56, 56-77.
- Ketteler E. og C. Pulfrich (1882) Photometrische Untersuchungen. *Ann. Phys.* 15, 337-377.
- Keussler V. v. (1927) Die Polarisation der Resonanzstrahlung des Quecksilberdampfes und ihre Beeinflussung durch Magnetfelder und Zusatzgase. *Ann. Phys.* 82, 793-835.
- Kieser K. (1919) Die Messung des Glanzes photographischer Papiere. *Zeitschr. Anal. Chem. (Aufsatzteil)* 32, 357-359. Sjá einnig grein H. Schulz í *Zeitschr. Techn. Phys.* 5, 135-140, 1924.
- Kikuchi S. og -. Nishikawa (1928) [Grein í *Proc. Imp. Acad. Japan* 4, 475-, tilvitnuð af A.G. Emslie í *Phys. Rev.* 45, 43-46, 1934].
- Kile D.E. (2003) The Petrographic Microscope. *Mineral. Record, Special Publication* 1, 96 bls.
- Kimball A.L. (1921) Optical determination of stress in transparent materials. *J. Opt. Soc. Am.* 5, 279-289. A.L.K. og E.G. Coker fengu á þessu ári breskt einkaleyfi nr. 164823 á tæki sem lýst er þarna.
- King A.S. (1913) The variation with temperature of the electric furnace spectrum of iron. *Astrophys. J.* 37, 239-281.
- King C.R. (1946,1947) How a sudden demand for optical calcite was met. *Engineering and Mining J.* 147(4), 80-81. Finding and mining optical calcite crystals. 148(6), 94-96.

- King H.C. (1955) *The History of the Telescope*. C. Griffin & Co., London, 456 bls.
- King L.V. (1913) On the scattering and absorption of light in gaseous media, with applications to the intensity of sky radiation. *Phil. Trans. Royal Soc.* A212, 375-433.
- Kipnis N. (1991) *History of the Principle of Interference of Light*. Birkhäuser, Basel, 271 bls.
- Kipping F.S. (1937) Organic derivatives of silicon. *Proc. Royal Soc.* A159, 139-148.
- Kirchhoff G. (1859) Über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1859, 783-787.
- Kirchhoff G. (1860) Ueber das Verhältniss zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht. *Ann. Phys.* 109, 275-301.
- Kirchhoff G. (1876) Ueber die Reflexion und Brechung des Lichtes an der Grenze krystallinischer Mittel. *Abh. Akad. Wiss. Berlin* 1876 (Physik, Abth. 2), 57-84.
- Klaproth M.H. (1788) [Efnagreiningar á kalkspati og aragoniti, birtar í *Crells Chem. Ann.* 1, 387-390 og *Bergmännisches J.* 1, 294-]. Sjá síðan Fourcroy og Vauquelin 1804 og Stromeyer 1814 um efnagreiningar Prousts, Chenevix, Buchholz og Trommsdorffs á kalkspati og aragoniti næstu árin.
- Klebs E. (1864) Die Nerven der organischen Muskelfasern. *Virchow's Arch. Pathol. Anat.* 32, 168-198.
- Klein C. (1900) Das Krystallpolymeter, ein Instrument für krystallographisch-optische Untersuchungen. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1900, 248-259. Sjá einnig grein um þetta tæki eftir C. Leiss í *Zeitschr. Instrumentenk.* 22, 201-209, 1902.
- Klein C. (1902) Totalreflectometer mit Fernrohr-Mikroskop. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1902, 653-655.
- Knoblauch H. (1848) Ueber die Doppelbrechung der strahlenden Wärme. *Ann. Phys.* 74, 1-9. Ueber die Polarisation der strahlenden Wärme durch Doppelbrechung, 177-190. Meira um varmageislun á bls. 9-24, 161-177.
- Knoblauch H. (1851) Ueber das Verhalten krystallisirter Körper zwischen elektrischen Polen. *Ann. Phys.* 83, 289-299. Einnig í *N.Jb. Min.* 1851, 698-705.
- Knoblauch H. (1852) Ueber die Abhängigkeit des Durchgangs der strahlenden Wärme durch Krystalle von ihrer Richtung in denselben. *Ann. Phys.* 85, 169-188. Meira í 93.
- Kobell F. v. (1855) Optisch-krystallographische Beobachtungen und über ein neues Polariskop, Stauroskop. *J. Prakt. Chemie* 64, 387-399. Meira í 65, 321-341, og síðar.
- Kobell F. v. (1862) Ueber Asterismus und die Brewster'schen Lichtfiguren. *Sitzungsber. Bayer. Akad. München* 1862(I), 199-209. Einnig *Phil. Mag.* 24, 497-504.
- Koch J. (1911) Über die Reflexion des Lichtes an Kalkspat in der Nähe von dessen metallischer Reflexionsbande bei ca. 6,6 μ . *Arkiv Matem. Astr. Fys.* 7 no. 9, 16 bls.
- Koepe L. (1921) Die Ultra- und Polarisations-mikroskopische Erforschung des Lebenden Auges und ihre Ergebnisse. *Bircher, Bern*, 269 bls.
- Kohlrausch A. (1923) Über den Helligkeitsvergleich verschiedener Farben. *Pflügers Arch. Physiol.* 200, 210-215.
- Kohlrausch F. (1878) Ueber die Ermittlung von Lichtbrechungsverhältnissen durch Totalreflexion. *Ann. Phys.* 4, 1-33.
- Kohlrausch K.W.F. (1920) Beiträge zur Farbenlehre. I. Farbton und Sättigung der Pigmentfarben. *Phys. Zeitschr.* 21, 396-403.
- Kohlrausch W. (1879) Ueber die experimentelle Bestimmung von Lichtgeschwindigkeiten in Krystallen. *Ann. Phys.* 6, 86-115 og 7, 427-435.
- Kostov I. (1968) *Mineralogy*. Oliver and Boyd, Edinburgh, 587 bls. Þýdd úr rússnesku. Hugmyndir Kostovs um tengsl kristalforms kalkspats við hitastig virðast ættaðar úr grein eftir G. Kalb í *Centralbl. Mineral.* 1928, 337-339.
- Kostov I. og R.I. Kostov (1999) *Crystal Habits of Minerals*. Drinov Publ., Sofia, 415 bls. Hér er þrýstingur CO₂ kominn í það hlutverk sem hitastigið hafði hjá Kostov 1968.

- Kramp C. (1811) Mémoire sur la double réfraction de la chaux carbonatée. *Mém. Soc. Sci. Agr. Arts, Strasbourg* 1, 181-280.
- Kraus F., A. Kossel og W. Scholz (1899) Über die Sauerstoffcapacität des menschlichen Blutes in Krankheiten. *Arch. Exper. Pathol.* 42, 323-355.
- Krebs A. (1927) Über die Bestimmung des Brechungsexponenten aus Reflexionsmessungen im ultraroten Spektrum. *Ann. Phys.* 82, 113-137.
- Krecke F.W. (1872) Ueber die Beziehungen der Drehungsfähigkeiten organischer Körper. *J. Prakt. Chemie* 5, 6-23. Yfirlitsgrein, stýtt úr *Arch. Néerl.* 6, 1871.
- Kremers H.C. (1940) Synthetic optical crystals. *Ind. Eng. Chem.* 32, 1478-1483.
- Kreutz S. (1908) Über die Ausbildung der Kristallform bei Calcitzwillingen. *N. Jahrb. Mineral.* 1908(1), 176-178. Útdráttur úr *Denkschr. Akad. Wiss. Wien* 80, 15-81, 1906.
- Krüger F. (1888) Beobachtungen über die Absorption des Lichtes durch das Oxyhämoglobin. *Zeitschr. Biol.* 24, 47-66.
- Krüss H. (1892) Das Polarisations-Kolorimeter. *Zeitschr. Physikal. Chemie* 10, 165-182.
- Krüss G. og H. Krüss (1909) Kolorimetrie und Quantitative Spektralanalyse, 2. útg., endurskoðuð af H. og P. Krüss. L. Voss, Hamburg, 284 bls.
- Kuhn H. og R. Prinz (2003) Frá torfbæjum inn í tækniöld. 2. bindi, ritstýrt af Magnúsi Kristinssyni. Örn og Örlygur, Reykjavík, 542 bls.
- Kundt A. (1881) Ueber die Doppelbrechung des Lichtes in bewegten reibenden Flüssigkeiten. *Ann. Phys.* 13, 110-133.
- Kundt A. (1884) Die elektromagnetische Drehung der Polarisationssebene des Lichtes durch Eisen, Kobalt und Nickel. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1884(II), 761-782, framhald í 1885(II), 1055-1064. Athugasemdir eftir G.F. FitzGerald eru í *Ann. Phys.* 25, 136-138, 1885.
- Kundt A. og W.C. Röntgen (1879a) Nachweis der electromagnetischen Drehung der Polarisationssebene des Lichtes im Schwefelkohlenstoffdampf. *Ann. Phys.* 6, 332-336.
- Kundt A. og W.C. Röntgen (1879b) Ueber die elektromagnetische Drehung der Polarisationssebene des Lichtes in den Gasen. *Ann. Phys.* 8, 278-298. Framhald í 10, 257-265, 1880.
- Kunz J. (1909) On the photoelectric properties of sodium-potassium alloy. *Phys. Rev.* 29, 174-176.
- Kunz J. (1917) The law of photo-electric photometry. *Astrophys. J.* 45, 69-88.
- Küch R. og T. Retschinsky (1906) Photometrische und spektralphotometrische Messungen am Quecksilberlichtbogen bei hohem Dampfdruck. *Ann. Phys.* 20, 563-583. Viðbætur í 22.
- Külz E. (1881) Über das Drehungsvermögen des Glykogens. *Pflügers Arch. Physiol.* 24, 85-90.
- Küpfmüller K. (1936) Kafli III, Telegraphie, í *Wien-Harms Handbuch der Experimentalphysik*, Band 11, 3. Teil, einkum bls. 472-474.
- Köhler A. (1926) Die Verwendung des Polarisationsmikroskops für biologische Untersuchungen. Í: *Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden* (ritstj. E. Abderhalden), Abt. II, Teil 2, Heft 2, 908-1108. Urban & Schwarzenberg, Berlin.
- König A. (1882) Das Leukoskop und einige mit demselben gemachte Beobachtungen. *Ann. Phys.* 17, 990-1008. Tækið er stundum kennt við H.v. Helmholtz, en því var fyrst lýst af D. Kitao í doktorsritgerð 1878.
- König A. (1886) The modern development of Thomas Young's theory of colour-vision. *British Assoc. Report* 56, 431-439. Einnig í *Naturwiss. Rundschau* 1.
- König A. (1894) Ein neues Spectralphotometer. *Ann. Phys.* 53, 785-792, og E. Köttgen skrifar svo um mælingar á ýmsum ljósgjöfum, 793-811. Þróun mælisins hófst 1885.
- König A. (1897) Die Abhängigkeit der Farben- und Helligkeitsgleichungen von der absoluten Intensität. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1897, 871-882.
- König A. og E. Brodhun (1888) Experimentelle Untersuchungen über die psychophysische Fundamentalformel in Bezug auf den Gesichtssinn. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1888, 917-931. Stutt viðbót í 1889, 641-644.

- König A. og C. Dieterici (1893) Die Grundempfindungen in normalen und anomalen Farbensystemen und ihre Intensitätsverteilung im Spektrum. Zeitschr. Psychol. Physiol. Sinnesorg. 4, 241-347.
- König W. (1901) Doppelbrechung in transversal schwingenden Glasplatten. Ann. Phys. 4, 1-40.
- König W. (1903) Doppelbrechung in Glasplatten bei statischer Biegung. Ann. Phys. 11, 842-866.
- Königsberger J. (1897) Ueber die Absorption von ultrarothern Strahlen in doppeltbrechenden Krystallen. Ann. Phys. 61, 687-704.
- Königsberger J. (1898) Magnetische Suszeptibilität von Flüssigkeiten und festen Körpern. Ann. Phys. 66, 698-734.
- Königsberger J. (1901a) Zur optischen Bestimmung der Erze. Centralbl. Mineral. 1901, 195-197.
- Königsberger J. (1901b) Ueber ein Mikrophotometer zur Messung der Absorption des Lichts. Zeitschr. Instrumentenk. 21, 129-133. Viðbót er í 22, 88-, 1902. Lýsing á þessum mæli ásamt mynd er í bók Tutttons 1922, bls. 1126-1127.
- Königsberger J. (1901c) Ueber die Abhängigkeit der Absorption des Lichtes in festen Körpern von der Temperatur. Ann. Phys. 4, 796-810.
- Königsberger J. (1903) Über ein Polarisationsphotometer und dessen Verwendung zur Messung im Ultraviolett und zur absoluten Bestimmung der Reflexion. Phys. Zeitschr. 4, 345-347.
- Königsberger J. (1908) Ueber einen Apparat zur Erkennung und Messung optischer Anisotropie undurchsichtiger Substanzen und dessen Verwendung. Centralbl. Mineral. 1908, 565-573, 597-605. Þar eru einnig leiðbeiningar um slípun sýna.
- Königsberger J. (1909) Methoden zur Erkennung und Messung optischer Anisotropie undurchsichtiger Substanzen. Centralbl. Mineral. 1909, 245-250. Viðbót 1910, 712-713.
- Königsberger J. og K. Kilchling (1909) Über das Verhalten gebundener und „freier“ Elektronen gegen elektromagnetische Strahlung. Ann. Phys. 28, 889-924.
- Labonne H. (1887) Sur le gisement du spath d'Islande. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 105, 1144-1145.
- Lacroix A. (1893) Le domaine de la minéralogie. Rev. Sci. 51, 769-773.
- Ladd W. (1874) On the construction of large Nicol's prisms. Nature 10, 451.
- Ladenburg A. (1886) Synthese der activen Coniine. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 19, 2578-2583. Synthèse de la conicine. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 103, 876-880.
- Ladenburg R. (1912) Über die anomale Dispersion und die magnetische Drehung der Polarisationssebene des leuchtenden Wasserstoffs, sowie über die Verbreiterung von Spektrallinien. Ann. Phys. 38, 249-318.
- Lagarde H. (1885) Recherches photométriques sur le spectre de l'hydrogène. Ann. Chim. 4, 248-370. Notar ljósmæli ættaðan frá Crova 1883.
- la Hire P. de (1710) Observations sur une espèce de talc qu'on trouve communément proche de Paris au-dessus des bancs de pierre de plâtre. Mém. de l'anc. Acad. Sci. 1710, 341-352, útg. 1732. Tilvitnað af Verdet 1869 og Buchwald 1980, 1989.
- Lallemand A. (1871) Recherches sur l'illumination des corps transparents. Ann. Chim. 22, 200-234 með framhaldi í 8, 93-136, 1875.
- Lambert P., G. Déjardin og D. Chalonge (1927) Sur l'extrémité ultraviolette du spectre solaire et la couche d'ozone de la haute atmosphère. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 185, 800-801, endurbót á mælingum J. Cabannes og J. Dufays í 181, 302-304, 1925.
- Lamé G. (1834) Mémoire sur les vibrations lumineuses des milieux diaphanes. Ann. Chim. 57, 211-219. Ritsmiðar hans um ljósfræði eru þó einkum frá því um 1850.
- Lampen A. (1906) An electrical resistance furnace for the measurement of higher temperatures with the optical pyrometer. J. Am. Chem. Soc. 28, 846-853. Framhald um karborundum-framleiðslu 853-858.
- Land E.H. (1947) Optical interference sight for guns, cameras or the like. U.S. Patent No. 2,420,252. Birt að hluta í „Applications of Polarized Light“, 437-442.

- Land E.H. (1950) Variable polarizing color filter. U.S. Patent No. 2,493,200, veitt samkvæmt umsókn Lands frá 1946. Birt að hluta í „Applications of Polarized Light“, 183-195, ritstj. B.H. Billings. SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, 1992.
- Land E.H. (1951) Some aspects of the development of sheet polarizers. *J. Opt. Soc. Am.* 41, 957-963. Sjá einnig McElheny 1998.
- Landerer J.J. (1889) Sur l'angle de polarisation de la Lune. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 109, 360-362. Mælingar á gosbergi til samanburðar eru í 111, 210-212, 1890, og á Venus í 114, 1524-1525, 1892.
- Landolt H. (1873) Ueber Gesetzmässigkeiten bezüglich des molekularen Drehungsvermögens der Weinsäure und ihrer Salze. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 6, 1073-1078.
- Landolt H. (1876) Zur Kenntniss des specifischen Drehungsvermögens gelöster Substanzen. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 9, 901-914.
- Landolt H. (1883) Neuerungen an Polaristrobometern. *Zeitschr. Instrumentenk.* 3, 121-127. Útfærsla á hálfskugga-tækni Lippichs frá 1882.
- Landolt H. (1898) Das Optische Drehungsvermögen Organischer Substanzen und dessen Praktische Anwendungen, 2. útg. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 655 bls. Sjá Mynd 27-5. Þessi útgáfa og sú fyrri frá 1879 komu einnig báðar út á ensku.
- Landsberg G. og L. Mandelstam (1928) Eine neue Erscheinung bei der Lichtzerstreuung in Krystallen. *Naturwissensch.* 16, 557-8, einnig í *C.R.* 187, 109-111. Um söguleg atriði í þessu sambandi, sjá grein eftir I.L. Fabelinskii í *Physics-Uspekhi* 41, 1229-1247, 1998.
- Lang V. v. (1858) Über die Minimum-Ablenkung der Lichtstrahlen durch doppeltbrechende Prismen. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 33, 155-162.
- Lang V. v. (1861) Über die Gesetze der Doppelbrechung. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 43(2), 627-663. Viðbót í *Ann. Phys.* 159, 168-173, 1876.
- Lang V. v. (1867) Verbesserter Axenwinkel-Apparat. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 55(2), 545-550. Tenging við litrófsgreini er í *Zeitschr. Kristallogr.* 2, 492-494, 1878.
- Lang V. v. (1868) Über unsere Kenntnisse von der optischen Eigenschaften der Krystalle. *Almanach Akad. Wiss. Wien* 18, 223-238. Hátíðarindi.
- Lang V. v. (1869) Ueber den Zusammenhang der Circularpolarisation mit der hemiedrischen Hemisymmetrie. *Ann. Phys.* 137, 447-450.
- Lang V.v. (1870) Ueber die Lichtgeschwindigkeit im Quarze. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 60, 767-794, einnig í *Ann. Phys.* 140, 460-478. Sjá Liebisch 1891, bls. 510-511.
- Lang V. v. (1881) Optische Notizen I-IV, m.a. Verbesserte dichroskopische Lupe. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 82(2), 171-179. Tækið var enn bætt af G. Halle í *N. Jahrb. Mineral.* 1895(2), 247-248 og af A. Cathrein í *Zeitschr. Instrumentenk.* 16, 1896.
- Laplace P.S. de (1808a) Rapport sur une mémoire de M. Malus, Sur divers phénomènes de la double réfraction de la lumière. *Procès-Verbaux des Séances de l'Académie des Sciences* 4, 145-147 (ásamt Hauy, Chaptal og Berthollet) og *J. Mines* 24, 219-226. Þýðing í *Ann. Phys.* 31, 274-285, 1809.
- Laplace P.S. de (1808b) Sur la double réfraction de la lumière dans les milieux diaphanes. *J. Mines* 24, 401-414 og *Bull. Soc. Philom.* 1, 303-310. Þýðing í *Ann. Phys.* 32, 446-462, 1809.
- Laplace P.S. de (1809a) Sur la loi de la réfraction extraordinaire de la lumière dans les cristaux diaphanes. *J. Phys.* 68, 107-111.
- Laplace P.S. de (1809b) Sur les mouvements de la lumière dans les milieux diaphanes. *Mém. Institut* 10, 300-342, og *Mém. Soc. Arcueil* 2, 111-142, 1809. Umsögn (nafnlaus) um þessar greinar og tvær eftir Malus er í *Edinburgh Review* 15, 422-430. Umsögn eftir Th. Young (líka nafnlaus) í *Quarterly Review* 2, 337-348, 1809, framhald í 3, 471-477, 1810.
- Larmor J. (1894) A dynamical theory of the electric and luminiferous medium. *Phil. Trans. Royal Soc. A* 185, 719-822, framhald í *A* 186, 695-743, 1895. Sjá einnig grein hans: The action of magnetism on light...., í *British Assoc. Report* 63, 335-372, 1893.
- Larmor J. (1900) *Aether and Matter*. Cambridge University Press, Cambridge, 365 bls.

- Larmor J. (1904) On the ascertained absence of motion through the aether, in relation to the constitution of matter; and on the FitzGerald-Lorentz hypothesis. *Phil. Mag.* 7, 621-625.
- Larsen E.S. (1921) The Microscopic Determination of the Nonopaque Minerals. *Bull. U.S. Geol. Survey* 679. Government Printing Office, Washington D.C., 288 bls.
- Lasaulx A. v. (1878) Über die Verwendung des Mikroskopes als Polarisationsinstrument im convergenten Lichte und ein neues Mikroskop zu mineralogische Zwecken. *N. Jahrb. Mineral.* 1878, 377-380.
- Laspeyres H. (1882) Ueber Stauroskope und stauroskopische Methoden. *Zeitschr. Instrumentenk.* 2, 14-24 og 54-60, meira í *Zeitschr. Krystallogr.* 8, 97-124, 1883-84.
- Laszlo H.G. de (1928) Absorption coefficients. *J. Phys. Chem.* 32, 503-506.
- Lauch K. (1924) Die optischen Konstanten chemisch reiner, undurchsichtiger durch Kathodenzerstäubung hergestellter Metallschichten. *Ann. Phys.* 74, 55-79.
- Lauffer M.A. og W.M. Stanley (1938) Stream double refraction of virus proteins. *J. Biol. Chem.* 123, 507-538.
- Laurent A. (1849) Sur les borates et sur le poids atomique du chlore. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 29, 5-8.
- Laurent L. (1874) Sur un nouveau saccharimètre et sur un moyen pour rendre la flamme de la soude absolument monochromatique. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 78, 349-351.
- Laurent L. (1877) Sur les appareils de projections, à la lumière polarisée. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 85, 1163.
- Laurent L. (1879) Sur le saccharimètre Laurent. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 89, 665-666. Sjá einnig lýsingu í grein N.N. í *La Nature* 6(I), 219-222, 1878. Landolt 1898 vitnar í grein L.L. í *Dinglers Polyt. J.* 223, 608- , 1877 um endurbót á Jellett-Cornu prismanu.
- Lavizzari L. (1865) Nouveaux phénomènes des corps cristallisés. Lugano, 54 bls.
- Lawrence E.O. og J.W. Beams (1927) On the nature of light. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 13, 207-212. Viðbót er í *Phys. Rev.* 32, 1928.
- Lawrence E.O. og F.G. Dunnington (1930) On the early stages of electric sparks. *Phys. Rev.* 35, 396-407. Sjá einnig greinar F.G.D. í 38, 1506-1534 og 1535-1546, 1931.
- Leavitt H.S. (1914) The North Polar Sequence. *Ann. Harvard Coll. Astron. Obs.* 71 (no. 3), 47-232. Sjá einnig *Harvard College Obs. Circular* 170, 1912 og umfjöllun í *Mon. Not. Royal Astr. Soc.* 73, 294-295, 1912.
- Lebedeff A.-A. (1930) Interféromètre à polarisation et ses applications. *Revue d'Optique* 9, 385-413.
- Le Bel J.A. (1874) Sur les relations qui existent entre les formules atomiques des corps organiques et le pouvoir rotatoire de leurs dissolutions. *Bull. Soc. Chim.* 22, 337-347.
- Le Bel J.A. (1878) Recherches sur l'alcool amylique (suite): alcool dextrogyre. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 87, 213-215.
- Le Bel J.A. (1891) Les relations du pouvoir rotatoire avec la structure moléculaire. *Rev. Sci.* 48, 609-617.
- Le Chatelier H. (1889) Sur la dilatation du quartz. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 108, 1046-1049. Sur la polarisation rotatoire du quartz. 109, 264-266. Meira í 110, 399-402, 1890.
- Le Chatelier H. (1893) Sur la chaleur de formation de l'arragonite. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 116, 390-392.
- Lecher E. (1882) Ueber Ausstrahlung und Absorption. *Ann. Phys.* 17, 477-518.
- Lecher E. (1917) *Lehrbuch der Physik für Mediziner, Biologen und Psychologen*, 2. útg. B.G. Teubner, Leipzig/Berlin, 449 bls.
- Leder F. (1907) Über die absolute Intensitätsverteilung im kontinuierlichen Grund der Alkalimetallspektren, über die Strahlung der Hefnerlampe und des Osmiums. *Ann. Phys.* 24, 305-325.
- Lehmann O. (1886a) Contractionsrisse an Kristallen. *Zeitschr. Krystallogr.* 11, 608-612.
- Lehmann O. (1886b) Ueber Mikroskope für physikalische und chemische Untersuchungen. *Zeitschr. Instrumentenk.* 6, 325-334.
- Lehmann O. (1889) Über fließende Krystalle. *Zeitschr. Physikal. Chemie* 4, 462-472.

- Lehmann O. (1900) Structur, System und magnetisches Verhalten flüssiger Krystalle und deren Mischbarkeit mit festen. *Ann. Phys.* 2, 649-705.
- Lehmann O. (1908) Zur Geschichte der flüssigen Kristalle. *Ann. Phys.* 25, 852-860. Lítil bók um þessa sögu eftir O.L. kom út 1907.
- Leiss C. (1897a) Neues Lupenstativ mit Polarisation für mineralogische, geologische und paläontologische Zwecke. *N. Jahrb. Mineral.* 1897(1), 81-82.
- Leiss C. (1897b, 1898a) Mittheilungen aus der R. Fuess'schen Werkstätte. *N. Jahrb. Mineral.* 1897(2), 86-96. Viðbót í 1898(2), 64-74.
- Leiss C. (1897c) Über ein neues, aus Kalkspath und Glas zusammengesetztes Nicol'sches Prisma. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1897, 901-904.
- Leiss C. (1897-98) Die neueren Projektionsapparate von R. Fuess. *N. Jahrb. Mineral. Beilagebd.* 11, 46-64.
- Leiss C. (1898b) Neues Mikroskopmodell Ia für mineralogische und petrographische Studien. *Zeitschr. Krystallogr.* 44, 264-267.
- Leiss C. (1899a) Ueber neue Totalreflexions-Apparate. *Zeitschr. Krystallogr.* 30, 357-372.
- Leiss C. (1899b) Die Optischen Instrumente der Firma R. Fuess. W. Engelmann, Leipzig, 397 bls. Endurprentuð 1988 í Bandaríkjunum.
- Leiss C. (1903) Ueber ein neues Projektionsmikroskop für den mineralogisch-petrographischen Unterricht. *Zeitschr. Krystallogr.* 37, 270-272.
- Leiss C. (1905) Präzisions-Polarisations-Spektrometer. *Zeitschr. Instrumentenk.* 25, 340-342.
- Leiss C. (1908) Neues Mikroskopmodell Ia für mineralogische und petrographische Studien. *Zeitschr. Krystallogr.* 44, 264-267.
- Leiss C. (1910) Mikroskop mit gemeinsamer Nicoldrehung in vereinfachter Form. *Zeitschr. Krystallogr.* 47, 377-378. Tveim öðrum smásjám er lýst í 49, 193-198, 1911.
- Leiss C. (1912) Neues petrographisches Mikroskop für die Theodolit-Methode. *Centralbl. Mineral.* 1912, 733-736.
- Leiss C. (1925) Die modernen Messinstrumenten des Kristallographen und Petrographen. Sérprent úr *Fortschr. Mineral. Kristallogr. Petrol.* 10, 5-88. G. Fischer, Jena, 91 bls.
- Lely D. og L. Hamburger (1914) Herstellung der Elemente Thorium, Uran, Zirkon und Titan. *Zeitschr. Anorg. Chemie* 87, 209-228.
- Lemon H.B. (1914) A polarization spectrophotometer using the Brace prism. *Astrophys. J.* 39, 204-212.
- Leó Kristjánsson (1996) Silfurberg – ein merkasta steind í sögu raunvísinda. Í: *Eðlisfræði á Íslandi VIII*, ritstj. Helga Tulinius, 97-106. Eðlisfræðifélag Íslands, Reykjavík.
- Leó Kristjánsson (2000) Upphaf smásjárrannsókna á þunnsneiðum af bergi, og nokkur tengsl þess við Ísland. *Jökull* 48, 55-61.
- Leó Kristjánsson (2001) Silfurberg: einstæð saga kristallanna frá Helgustöðum. *Jökull* 50, 95-108.
- Leó Kristjánsson (2002a) Iceland spar - the Helgustadir calcite locality and its influence on the development of science. *J. Geosci. Ed.* 50, 419-427.
- Leó Kristjánsson (2002b) Um silfurberg frá Helgustöðum og þróun vísinda. *Glettingur* 12(3), 35-39.
- Leó Kristjánsson (2003) A little known history of Helgustadir: type locality of Iceland spar. *Matrix* 11, 95-107, með inngangi eftir J. Lininger.
- Lepinay J. Macé de (1880) Recherches expérimentales sur la double réfraction accidentelle. *Ann. Chim.* 19, 5-90.
- Lépine G. (1915) Étude expérimentale sur la fluorescence des solutions. *Ann. de Phys.* 4, 207-228.
- Lépine R. (1911) Sur le sucre du sang. *Rev. Sci.* 49, 641-644.
- Levene P.A. (1920) Properties of the nucleotides obtained from yeast nucleic acid. *J. Biol. Chem.* 41, 483-493.

- Levene P.A. og W.A. Jacobs (1909) Über die Pentose in den Nucleinsäuren. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 42, 3247-3251.
- Levene P.A. og D.D. van Slyke (1909) The leucin fraction of proteins. J. Biol. Chem. 6, 391-418, frh. 419-430.
- Levene P.A., L.A. Mikeska og T. Mori (1930) On the carbohydrate of thymonucleic acid. J. Biol. Chem. 85, 785-787. Sjá einnig grein eftir P.A.L. og E.S. London í 83, 793-802, 1929.
- Lewschin W.L. (1925) Über polarisiertes Fluoreszenzlicht von Farbstofflösungen. IV. Zeitschr. Phys. 32, 307-326. Sjá einnig Wawilow 1925.
- Liebethal E. (1907) Praktische Photometrie. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 445 bls.
- Liebisch T. (1885) Neuere Apparate zum Messen des Winkels der optischen Axen. N. Jahrb. Mineral. 1885(1), 175-183. Ueber die Totalreflexion an optisch einaxigen Krystallen, 245-253, viðbót í (2), 181-211.
- Liebisch T. (1886) Ueber die Bestimmung der Lichtbrechungsverhältnisse doppeltbrechender Krystalle durch Prismenbeobachtungen. N. Jahrb. Mineral. 1886(1), 14-34, meira í 1886(2), 47-66.
- Liebisch T. (1887) Ueber eine besondere Art von homogenen Deformationen krystallinischer Körper. Nachr. Gesellsch. Wiss. Göttingen 1887, 435-448. Nánar í N. Jahrb. Mineral. Beilageb. 6, 105-120, 1889. Einkum um kalkspat.
- Liebisch T. (1891) Physikalische Kristallographie. Veit & Comp., Leipzig, 614 bls.
- Liebisch T. og H. Rubens (1919) Über die optischen Eigenschaften einiger Kristalle im langwelligen ultraroten Spektrum. Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin 1919, 198-219.
- Lima-de-Faria J., ritstj. (1990) Historical Atlas of Crystallography. Kluwer, Dordrecht, 158 bls. Kaflar eftir nokkra höfundu um sögulega þróun ýmissa sviða kristallafræðinnar.
- Lincio G. (1907) Das neue Leitz'sche mineralogische Mikroskopmodell A. N. Jahrb. Mineral., Beilageband 23, 163-186.
- Linck G. (1883) Künstliche vielfache Zwillingstreifung am Calcit. N. Jahrb. Mineral. 1883(1), 203-204.
- Linck G. (1923) Grundriss der Kristallographie, 5. útg. G. Fischer Verlag, Jena, 292 bls.
- Link -. (1797) Ueber die Verdoppelung der Bilder in durchsichtigen Steinen. Crelles Chem. J., frönsk þýðing í Ann. Chim. 28, 84- . Tilvitnað af Verdet 1869.
- Lippich F. (1863) Über die Natur der Ätherschwingungen im unpolarisirten und theilweise polarisirten Lichte. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 48(2), 146-198.
- Lippich F. (1882) Über polaristobometrische Methoden. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 85(2), 268-326, sjá einnig grein hans í Zeitschr. Instrumentenk. 2, 167-174.
- Lippich F. (1885) Über polaristobometrische Methoden, insbesondere über Halbschattenapparate. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 91(2), 1059-1096.
- Lippich F. (1896) Dreitheiliger Halbschatten-Polarimeter. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 105(2a), 317-361.
- Lipton L. (2001) The stereoscopic cinema: from film to digital projection. SMPTE Journal, sept. 2001, 586-593.
- Listing J.B. (1855) Zusatz zu der vorgehenden Abhandlung. Liebigs Ann. Chem. 93-99.
- Liveing G. D. og J. Dewar (1882) On the spectrum of water. No. II. Proc. Royal Soc. 33, 274-276. On the spectrum of carbon, 403-410. General observations on the spectra of carbon and its compounds, 34, 123-130.
- Liveing G.D. og J. Dewar (1883) On the ultra-violet spectra of the elements. Parts I & II. Phil. Trans. Royal Soc. 174, 187-222.
- Liveing G.D. og J. Dewar (1889) On the spectrum of the oxy-hydrogen flame. Phil. Trans. Royal Soc. 179, 27-42. Í útdrætti í Proc. Royal Soc. 43, 347-348, 1888 er tekið fram að kalkspatprisma hafi verið notað.
- Lloyd H. (1833) On the phenomena presented by light in its passage along the axes of biaxial crystals. Trans. Royal Irish Acad. 17, 145-158, einnig í Phil. Mag. 2, 112-120, 207-210.
- Lloyd H. (1834) Report on the progress and present state of physical optics. British Assoc. Report 4, 295-413.
- Lloyd H. (1857) Elementary Treatise on the Wave-Theory of Light, 2. útg. Longman, London, 208 bls. Sjá Mynd 17-1.

- Lockyer N. (1904) Further researches on the temperature classification of stars. *Proc. Royal Soc.* 73, 227-238. Framhald í 76, 145-151, 1905.
- Lommel E. (1878) Theorie der Doppelbrechung. *Ann. Phys.* 4, 55-67. Meira í 15, 378-390, 1882, og einnig ritaði hann kennilegar greinar um optiska virkni.
- Lommel E. (1881) Ein Polarisationsapparat aus Magnesium-Platincyanür. *Ann. Phys.* 13, 347-353. Samslags bariumsamband var notað sem ljómunarefni í geislaðmælingum.
- Lommel E. (1884) Die Fluorescenz des Kalkspathes. *Ann. Phys.* 21, 422-427.
- Lommel E. v. (1898) Ueber aus Kalkspath und Glas zusammengesetzte Nicol'sche Prismen. *Sitzungsber. Bayer. Akad. München* 28, 111-116.
- Lorentz H.A. (1877, 1878) Ueber die Theorie der Reflexion und Refraction des Lichtes. *Schlömilch's Zeitschr. Math. Phys.* 22, 1-30, 205-220 og 23, 197-210.
- Lorentz H.A. (1897) Ueber den Einfluss magnetischer Kräfte auf die Emission des Lichtes. *Ann. Phys.* 63, 278-284. Um fræðin á bak við Zeeman-hrif.
- Lorentz H.A. (1915) *The Theory of Electrons*, 2. útg. B.G. Teubner, Leipzig, 343 bls., lítt breytt frá 1. útg. 1909.
- Lorenz L.V. (1860) Bestimmung der Schwingungsrichtung des Lichtäthers durch die Polarisation des gebeugten Lichtes. *Ann. Phys.* 187, 315-328, 460-473.
- Louyet P. (1849) Recherches sur l'équivalent du fluor. *Ann. Chim.* 25, 291-310.
- Lowry T.M. (1908) Measurement of rotatory dispersive power in the visible and ultra-violet regions of the spectrum. *Proc. Royal Soc.* A81, 472-474. Hér er notuð samsett linsa úr kvasi og kalkspati, sjá einnig um slíkar linsur í greinum eftir P. Sève í C.R. 180, 1951-1952, 1925 og eftir Bruhat og Pauthenier 1927. Meiri mælingar eru í grein eftir T.M.L. og W.R.C. Coode-Adams í *Phil. Trans.* A126, 391-466, 1927.
- Lowry T.M. (1913a) Applications of polarised light. *Nature* 91, 542-546.
- Lowry T.M. (1913b) The rotatory dispersive power of organic compounds. Part III. The measurement of magnetic rotatory dispersion. *J. Chem. Soc. Trans.* 103, 1322-1331.
- Lowry T.M. (1935) *Optical Rotatory Power*. Longmans, Green & Co., London, 483 bls. Endurútgefin af Dover Publications, New York 1964.
- Lowry T.M. og H.S. French (1924) Studies of valency. Part IV. Absorption spectra of camphor, benzylidenecamphor, and camphorquinone. Optical evidence of two types of conjugation. *J. Chem. Soc. Trans.* 125, 1921-1927.
- Lowry T.M. og M.A. Vernon (1928) An improved method of ultra-violet polarimetry. Anomalous rotary dispersion of sodium tartrate. *Proc. Royal Soc.* A119, 706-709.
- Lucas W. (1882) The Telectroscope, or „Seeing by electricity“. *English Mechanic and World of Science* no. 891, 151-152. Höfundurinn minnti á þessa grein löngu síðar, í *Nature* 27. júní 1936.
- Lummer O. (1896) [Grein um nýjan hálfskugga-búnað fyrir polarimetra, tilvitnuð af Landolt 1898, bls. 319]. *Zeitschr. Instrumentenk.* 16, 209-211.
- Lummer O. (1905) Observations on vision in brightness and in obscurity, with a hypothesis on the cause of color-blindness. *Annual Rept. Smithsonian Institution* 1904, 249-258, þýtt úr *Verh. Deutsch. Phys. Gesellsch.* 6, 1904.
- Lummer O. (1909) *Die Lehre der Strahlenden Energie (Optik)*, 2. Band, 3. Buch af Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik und Meteorologie, 10. útg., ritstj. L. Pfaundler. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1189 bls.
- Lummer O. og E. Gehrcke (1903) Über die Anwendung der Interferenzen an planparallelen Platten zur Analyse feiner Spektrallinien. *Ann. Phys.* 10, 457-477.
- Lummer O. og R. Kynast (1907) Spektralapparat für Polarisations- und Phasendifferenzmessungen. *Ann. Phys.* 22, 721-725. Í grein næst á eftir lýsir R.K. mælingum.
- Lundsgaard C. og S.A. Holböll (1924). Effect of insulin and muscle tissue on glucose in vitro. *J. Biol. Chem.* 62, 453-469. Nokkrar greinar í viðbót um sama efni birtust 1925.
- Luther R. og G.S. Forbes (1909) A quantitative study of the photochemical reaction between quinine and chromic acid. *J. Am. Chem. Soc.* 31, 770-783.
- Lutz É. (1872) *Catalogue des Instruments d'Optique*. París, 39 bls.

- Luynes V. de (1876) La trempe du verre et ses applications. *La Nature* 4(I), 118-122.
- Luynes V. de og A. Girard (1875) Note sur le pouvoir rotatoire du sucre cristallisable et sur la prise d'essai des sucres soumis à l'analyse polarimétrique. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 80, 1354-1357.
- Lyot B. (1923) Étude des surfaces planétaires par la polarisation. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 177, 1015-1017. Viðbót í 178, 1796-1798, 1924, svo og í 179 og 182.
- Lyot B. (1926) Appareils permettant d'analyser des lumières très faiblement polarisées. *Revue d'Optique* 5, 108-118.
- Lyot B. (1929) Polarisation de la planète Mercure. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 189, 425-426, meira í 191, 703-705, 1930.
- Lyot B. (1933) Un monochromateur à grand champ utilisant les interférences en lumière polarisée. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 197, 1593-1595. Sjá einnig Öhman.
- Lyot B. (1944) Le filtre monochromatique polarisant et ses applications en physique solaire. *Ann. Astrophys.* 7, 31-79. Sjá einnig grein hans í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 212, 1013-1017, 1941.
- Lyot B. (1945) Planetary and solar observations on the Pic du Midi in 1941, 1942 and 1943. *Astrophys. J.* 101, 255-259.
- Macaluso D. og O.-M. Corbino (1898) Sur une nouvelle action subie par la lumière traversant certaines vapeurs métalliques dans un champ magnétique. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 127, 548-551, nánar í greinum þeirra í *Nuovo Cimento*.
- MacCullagh J. (1831) On the double refraction of light in a crystallized medium, according to the principles of Fresnel. *Trans. Royal Irish Acad.* 16, Pt. 2, 65-78.
- MacCullagh J. (1836, 1837) On the laws of reflexion from crystallized surfaces. *Phil. Mag.* 8, 103-108. On the laws of crystalline reflexion. 10, 42-45. Sjá einnig *Ann. Phys.* 40, 462-463, 1837 og *Liouville J. Mathém.* 7, 217-265, 1842. Meira í *Trans. Irish Acad.*
- MacCullagh J. (1839) On the dynamical theory of crystalline reflexion and refraction. *Proc. Irish Acad.* 1, 374-379. Nánar í 2, 96-102, 1840-44 og *Trans. Irish Acad.* 21, 17-50, 1848.
- Mach E. (1875) Ueber einen Polarisationsapparat mit rotirendem Zerleger. *Ann. Phys.* 156, 169-172.
- Mach E. og J. Merten (1876) Bemerkungen über die Änderung der Lichtgeschwindigkeit im Quarz durch Druck. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 72(2), 315-328.
- Mackenzie A.S. (1895) On the attractions of crystalline and isotropic masses at small distances. *Phys. Rev.* 2, 321-343.
- Madan H.G. (1885) On a modification of Foucault's and Ahrens's polarising prisms. *Nature* 31, 371-372.
- Madan H.G. (1890) Bertrand's idiocyclophanous spar-prism. *Nature* 42, 52-53. Í viðbót bls. 99-100 bendir hann á að hægt sé að nota aflanga sexstrenda kalkspatkrystalla frá Cumberland í þetta prisma.
- Madelung A. (1883) Beobachtungen mit Breithaupt's Polarisationsmikroskop. *Zeitschr. Krystallogr.* 7, 73-76. Útdráttur úr gömlu handriti.
- Magnanini G. og T. Bentivoglio (1893) Intorno alla spettro di assorbimento delle soluzioni di alcuni cromoossalati della serie bleu. *Rend. Accad. Linc.* 2 (ii), 17-23.
- Magnus G. (1866) Ueber die Polarisation der ausgestrahlten Wärme und ihren Durchgang durch parallele Platten. *Ann. Phys.* 127, 600-613.
- Maisel S. (1908) Un nouveau photomètre polariseur à scintillation. *J. Phys.* 7, 739-740, útdráttur greinar úr rússnesku tímariti.
- Malarski H. og L. Marchlewski (1912) Studien in der Chlorophyllgruppe VI. Bestimmung des Chlorophylls in Pflanzenteilen. *Biochem. Zeitschr.* 24, 319-322.
- Mallard E. (1876) Sur le système cristallin de plusieurs substances présentant des anomalies optiques. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 82, 1063-1065, 1164-1167. Meira í *Ann. Mines* 10, 60-196, 1876 og *Bull. Soc. Minéral. Fr.* 3, 3-20, 1880.

- Mallard E. (1882) Sur la mesure de l'angle des axes optiques. Bull. Soc. Minéral. Fr. 5, 77-87. Aðferð sem þarna er lýst, var endurbætt af F. Becke í Mineral. Petrogr. Mitth. 14, 563-565, 1895.
- Malm E. (1761) De Refractionibus Crystalli Islandicae, Diss. Gradualis, Upsala, 10 bls.
- Malus E.L. (1807a) Traité d'optique, ritgerð lögð fram 1807, en birt í Mém. Sav. Étr. 2, 214-302, 1811.
- Malus E.L. (1807b) Mémoire sur la mesure du pouvoir réfringent des corps opaques. Bull. Soc. Philom. 1, 77-81. Þýðing í Ann. Phys. 31, 225-234. Einnig í Mém. Sav. Étr. 2, 509-517, 1811.
- Malus E.L. (1808a) Sur une propriété de la lumière réfléchie. Bull. Soc. Philom. 1, 266-269, nánar í Mém. (de Phys.) Soc. Arcueil 2, 143-158, 1809 og víðar. Þýðing í Ann. Phys. 31, 286-297, 1809.
- Malus E.L. (1808b) Sur les phénomènes qui dépendent des formes des molécules de la lumière. Bull. Soc. Philom. 1, 341-344, 353-355. Þýðing í Ann. Phys. 32, 463-477, 1809.
- Malus E.L. (1809) Sur une propriété des forces répulsives qui agissent sur la lumière. Mém. Soc. Arcueil 2, 254-267.
- Malus E.L. (1810a) Mémoires sur les phénomènes qui accompagnent la réflexion et la réfraction de la lumière. Mém. Inst. Pt. 2, 112-120 og víðar. Þýðing í Ann. Phys. 40, 119-131, 1812, sjá einnig bréf frá Malus í 37, 109-113, 1811.
- Malus E.L. (1810b) Mémoire sur l'axe de réfraction des cristaux et des substances organisées. Mém. Inst. Pt. 2, 142-148 og víðar, þýðing í Ann. Phys. 40, 132-140, 1812.
- Malus E.L. (1811) Théorie de la double réfraction. Mém. Sav. Étr. 2, 303-508. Á fremstu bls. er þessi ritgerð sögð hafa verið verðlaunuð á samkomu akademiunnar 2. jan. 1810.
- Marbach H. (1854) Die circulare Polarisation des Lichtes durch chloresaures Natron. Ann. Phys. 91, 482-487. Umfjöllun í C.R. 40, 793-800, 1855 og 43, 705-706, 800-802, 1856.
- Marbach H. (1855) Ueber die optischen Eigenschaften einiger Krystalle des tesseralen Systems. Ann. Phys. 94, 412-426. Framhald í 99, 451-466, 1856.
- Marchand R.F. og T. Scheerer (1850) Ueber das chemische Aequivalent des Magnesiums. J. Prakt. Chemie 50, 385-411.
- Marchlewski L. og C.A. Schunck (1900) Zur Kenntniss des Chlorophylls. J. Prakt. Chemie 62, 247-265.
- Marston A. (1893) The study of the distribution of strains by polarized light. Phys. Rev. 1, 127-138.
- Martens F.F. (1900) Über ein neues Polarisationsphotometer für weisses Licht. Phys. Zeitschr. 1, 299-303.
- Martens F.F. (1901) Ueber die Dispersion ultravioletter Strahlen. Ann. Phys. 6, 603-640.
- Martens F.F. (1903) Über ein neues, tragbares Photometer für weisses Licht. Verh. Deutsch. Phys. Gesellsch. 5, 149-156.
- Martens F.F. og F. Grünbaum (1903) Über eine Neukonstruktion des Königschen Spektralphotometers. Ann. Phys. 12, 984-1003, framhald eftir F.G. þar á eftir.
- Martin B. (1774) Two Essays on the Nature and Wonderful Properties of Island Crystal. Sú fyrri (*Mynd 4-1*) er „Respecting its manifold and unusual refraction of light“, 16 bls., sú seinni fjallar um linsur og prismu úr efninu, 17 bls. London. Ritgerðirnar voru endurbirtar af D. Brewster 1822-23.
- Martin W.H. (1920) The scattering of light by dust-free liquids. J. Phys. Chem. 24, 478-493. Meira í 26 og 28.
- Mascart E. (1864) Recherches sur la spectre solaire ultra-violet et sur la détermination des longueurs d'onde. Ann. École Normale 1, 219-262, með viðbótargrein um ljósvístur í silfurbergi 263-267. Stytt í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 58, 1111-1114. Framhald m.a. um brotstuðulsmælingar á silfurbergi í 4, 7-36, 1867.
- Mascart E. (1866) Sur la direction des vibrations dans la lumière polarisée. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 63, 1005-1007. Þýðing í Phil. Mag. 33, 319-320, 1867.
- Mascart E. (1869) Sur la visibilité des rayons ultra-violets. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 68, 402-403. Nefnir litrófsgreini þar sem allir hlutar eru úr silfurbergi.
- Mascart E. (1872, 1874) Sur les modifications qu'éprouve la lumière par suite du mouvement de la source lumineuse et du mouvement de l'observateur. Ann. École Normale 1, 157-214 og 3, 363-420. Stutt samantekt er í J. Phys. 4, 129-134, 1875.

- Mascart E. (1889, 1891, 1893) *Traité d'Optique I-III*. Gauthier-Villars et Fils, Paris, 638 + 643 + 692 bls.
- Maskelyne N. Story (1870) On the mineral constituents of meteorites. *Phil. Trans. Royal Soc.* 160, 189-214. Framhald (með Nörrenberg-smásjá) í 161, 359-367, 1871.
- Mason S.F. (1982) *Molecular Optical Activity and the Chiral Discriminations*. Cambridge University Press, Cambridge, 273 bls.
- Masson J.I. Orme (1911) The solubility of electrolytes in aqueous solutions. Part I. Solubility of salts in the corresponding acids. *J. Chem. Soc. Trans.* 99, 1132-1139.
- Mathieu J.-P. (1956) Rapport sur les progrès récents de la question du dichroïsme circulaire. Í: *Oeuvres Scientifiques de Aimé Cotton, C.N.R.S.*, Paris, 91-97.
- Matteucci C. (1848) Experiments on the influence of magnetism on polarized light. *Proc. Royal Soc.* 5 (1843-50), 741-742. Líklega útdráttur lengri greinar.
- Maxwell J.C. (1853) On the equilibrium of elastic solids. *Trans. Royal Soc. Edinb.* 20, 87-120, upp úr erindi sem Maxwell mun hafa flutt í þessu vísindafélagi 1850.
- Maxwell J.C. (1856) On the unequal sensitivity of the foramen centrale to light of different colours. *British Assoc. Report* 26, pt. ii, 12. Sjá Schuster 1890.
- Maxwell J.C. (1862) On physical lines of force IV. The theory of molecular vortices applied to the action of magnetism on polarized light. *Proc. Royal Soc.* 13, 531-536.
- Maxwell J.C. (1864) A dynamical theory of the electromagnetic field. *Proc. Royal Soc.* 13, 531-536 og *Phil. Mag.* 29, 152-157. Stór grein með sama titli kom svo í *Phil. Trans. Royal Soc.* 155, 459-512, 1865.
- Maxwell J.C. (1873-74) On double refraction of a viscous fluid in motion. *Proc. Royal Soc.* 22, 46-47. Þýðing í *Ann. Phys.* 151, 151-154.
- Mayer J.T. (1812, 1815) De polaritate luminis. *Comm. Soc. Reg. Sci. Gött.* 2, 1811-13, útdráttur í *Gött. Gelehrte Anz.* No. 199, 1812. De apparentiis colorum a polaritate luminis pendentibus, *Comm. Soc. Reg. Sci. Gött.* 3, 77-105, 1814-15, útdráttur í *Gött. Gelehrte Anz.* No. 170, 1815, 1681-1688.
- McConnel J.C. (1886) An experimental investigation into the form of the wave surface in quartz. *Phil. Trans. Royal Soc.* 177, 299-326, útdr. í *Proc. Royal Soc.* 39, 409-411.
- McConnel J.C. og D.A. Kidd (1888) On the plasticity of glacier and other ice. *Proc. Royal Soc.* 44, 331-367.
- McDiarmid R.J. (1924) Photometric researches. The eclipsing variables TV Cassiopeiae, TW Cassiopeiae, TX Cassiopeiae, T Leonis Minoris, SS Camelopardalis. *Contrib. Princeton Univ. Observ.* 7, 64 bls.
- McElheny V.K. (1998) *Insisting on the Impossible. The Life of Edwin Land*. Perseus Books, Cambridge, Mass., 510 bls.
- McGraw-Hill *Encyclopedia of Science and Technology* (1992), 7. útg. Ýmsar greinar.
- Mecklenburg W. (1914) Ueber die Messung des Tyndalleffekts in Kolloiden. *Koll. Zeitschr.* 14, 172-181.
- Mecklenburg W. (1915) Die Untersuchung von trüben Lösungen. *Naturwissensch.* 3, 317-323.
- Mees C.E.K. og S.E. Sheppard (1904) Über Apparate zu sensitometrischen Untersuchungen, mit einer geschichtlichen Zusammenfassung. *Zeitschr. Wissensch. Photogr.* 2, 303-336. Sjá einnig grein þeirra: Theory of photographic processes. *Proc. Royal Soc.* 74, 447-473. Mees var rannsóknastjóri Kodak 1914-49.
- Meisling A.A. (1904) Ein Polarisationskolorimeter. *Zeitschr. Anal. Chem.* 43, 137-146. Þar strax á eftir er grein eftir H.P.T. Oerum um mælingar á jární í blóði með tækinu.
- Melander G. (1897) Sur un spectro-photomètre construit pour distinguer directement les raies telluriques dans le spectre solaire. *Öfvers. Finska Vetensk.-Societetens Förhandl.* 39, 247-255.
- Melloni M. (1836, 1837) Mémoire sur la polarisation de la chaleur. *Ann. Chim.* 61, 375-410 og 65, 1-68. Útdrættir í *C.R.* 2, 140-145 og 3, 133-135, 1836. Þýðingar nokkurra greina hans eru í *Ann. Phys.* 35, 1835 og 37, 1836.
- Melloni M. (1842) Sur l'identité des diverses radiations lumineuses, calorifiques, et chimiques. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 15, 454-460.
- Menzies A.C. (1931) The normal vibrations of carbonate and nitrate ions. *Proc. Royal Soc.* A134, 265-277.

- Merrill G.P. (1910) *The Non-Metallic Minerals. Their Occurrence and Uses.* 2. útg. J. Wiley & Sons, New York, 432 bls.
- Merritt E. (1894-95) On the absorption of certain crystals in the infra-red as dependent on the plane of polarization. *Phys. Rev.* 2, 424-441. Þýðing í *Ann. Phys.* 55, 49-64, 1895.
- Merton T.R. og J.W. Nicholson (1918) On phenomena relating to the spectra of hydrogen and helium. *Phil. Trans. Royal Soc.* 217, 237-278.
- Mesnager A. (1913) Étude des efforts intérieurs dans les solides. *Ann. des Ponts et Chaussées* 16, 133-186, tilvitnað af Delanghe 1928. Stutt kynning í *C.R.* 155, 1071-1072, 1912. Sjá einnig *Engineering* 101, 468-470, 1916.
- Messerschmitt J.B. (1888) Ueber diffuse Reflexion. *Ann. Phys.* 34, 867-896.
- Messerschmitt J.B. (1885) Spektralphotometrische Untersuchungen einiger photographischer Sensibilatoren. *Ann. Phys.* 25, 655-673.
- Metz G. de (1902) Double réfraction accidentelle des liquides mécaniquement déformés. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 134, 1353-1356. Meira í 136, 604-606, 1903.
- Metzner P. (1920) Über Mikroprojektion im polarisierten Licht mit einfachen Hilfsmitteln. *Zeitschr. Wissensch. Mikrosk.* 37, 273-287.
- Meyer O. (1883) Ätzversuche am Kalkspath. *N. Jahrb. Mineral.* 1883(1), 74-78.
- Michaelis L. og M. L. Menten (1913) Die Kinetik der Invertinwirkung. *Biochem. Zeitschr.* 49, 333-369.
- Michaelis L. og P. Rona (1908) Untersuchungen über den Blutzucker. IV. *Biochem. Zeitschr.* 14, 476-483.
- Michel-Lévy A. (1877) De l'emploi du microscope polarisant à lumière parallèle pour la détermination des espèces minérales en plaque mince. *Ann. Mines* 12, 392-471.
- Michel-Lévy A. (1883) Mesure du pouvoir biréfringent des minéraux en plaque mince. *Bull. Soc. Minéral. Fr.* 6, 143-161.
- Michelson A.A. (1897, 1898) Radiation in a magnetic field. *Phil. Mag.* 44, 109-115 og 45, 348-356. Einnig í *Astrophys. J.* og í *Nature* 59, 440-441, 1898-99.
- Mie G. (1908) Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. *Ann. Phys.* 25, 377-445. Sjá einnig Steubing 1908.
- Miller L.B. og J.C. Witt (1929) Solubility of calcium hydroxide. *J. Phys. Chem.* 33, 285-289.
- Miller W.A. (1862) On the photographic transparency of various bodies, and on the photographic effects of metallic and other spectra obtained by means of the electric spark. *Phil. Trans. Royal Soc.* 152, 861-887.
- Milligan L.H. (1927) Abrasives and grinding. *Ind. Eng. Chem.* 19, 1127-1131. Um bílaframleiðslu.
- Millikan R.A. (1895) A study of the polarization of light emitted by incandescent solid and liquid surfaces. *Phys. Rev.* 3, 81-99, 177-192.
- Millikan R.A. (1917a) A redetermination of the value of the electron and of related constants. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 3, 231-236.
- Millikan R.A. (1917b) Radiation and atomic structure. *Phys. Rev.* 10, 194-205.
- Milne J. R. (1904) A new form of spectrophotometer. *Proc. Royal Soc. Edinb.* 25, 338-354. Einnig í *Proc. Optical Convention* 1905.
- Minkowski R. (1921) Untersuchungen über die magnetische Drehung der Polarisationssebene in nichtleuchtendem Na-Dampf. *Ann. Phys.* 66, 206-226.
- Minor R.S. (1902) Dispersion einiger Metalle, besonders für ultraviolette Strahlung. *Ann. Phys.* 10, 581-622.
- Mitscherlich E. (1818-19) Ueber die Krystallisation der Salze, in denen der Basis mit zwei Proportionen Sauerstoff verbunden ist. *Abh. Akad. Wiss. Berlin* 1818-19 (Phys.), 427-437.
- Mitscherlich E. (1823) Über das Verhältniss der Krystallform zu den chemischen Proportionen. Vierte Abhandlung: über die Körper, welche in zwei verschiedenen Formen krystallisieren. *Abh. Akad. Wiss. Berlin* 1822-23, 43-48.

- Mitscherlich E. (1825) Über die Ausdehnung der krystallisirten Körper durch die Wärme. Abh. Akad. Wiss. Berlin 1825, Phys. Klasse, 201-212. Smágrein kom fyrst um þessa uppgötvun í Ann. Phys. 1, 125-127, 1824. Viðbót í Ann. Phys. 41, 213-216, 1837.
- Mitscherlich E. (1831) Ueber die Veränderung des Arragonits in Kalkspath. Ann. Phys. 21, 157-159. J.J. Berzelius var e.t.v. áður búinn að kanna þetta, sjá Partington 1952, sömuleiðis W. Haidinger skv. Arzruni 1893.
- Mitscherlich E. (1841) Chemische Zersetzung und Verbindung vermittelt Contactsubstanzen. Ber. Akad. Wiss. Berlin 1841, 379-396. Framhald í 1842, 147-150 og 1843, 35-41.
- Mittelstaedt O. (1929) Die Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit unter Verwendung des elektrooptischen Kerreffektes. Ann. Phys. 2, 285-312.
- Moe H. (1990) Mikroskopets Historie. Rhodos Forlag, Köbenhavn, 261 bls.
- Moenke H. og L. Moenke-Blankenburg (1965) Optische Bestimmungsverfahren und Geräte für Mineralogen und Chemiker. Akademische Verlagsgesellsch., Leipzig, 568 bls.
- Mohl H.v. (1858) On the investigation of vegetable tissue by the aid of polarized light. Ann. Nat. Hist. 1, 198-209, 263-275, þýtt úr Bot. Zeitung 16.
- Mohl H. v. (1859) Ueber die Einrichtung des Polarisationsmikroskops zum Behufe der Untersuchung organischer Körper. Ann. Phys. 108, 178-190.
- Monckhoven D.v. (1877) Sur les moyens propre à la reproduction photographique des spectres ultra-violets des gaz. Bull. Acad. Roy. Belg. 43, 187-192.
- Monge G. (1789?) [Rannsóknir á ljósbroti í silfurbergi, kynntar af honum í Akademiunni í apríl 1786]. Niðurstöðurnar eru tilvitnaðar m.a. af Billet 1858-59, Barnard 1863, Mascart 1889-93, Paulsen 1893, Bouasse 1925, og Dictionary of Scientific Biography 1980-90, án þess að getið sé prentaðrar heimildar.
- Morrison-Low A.D. og J.R.R. Christie, ritstj. (1984) „Martyr of Science“. Sir David Brewster 1781-1868. Royal Scottish Museum, Edinborg, 138 bls. Með ritskrá.
- Morse L.B. (1907) The selective reflection of salts of carbonic and other oxygen acids. Astrophys. J. 26, 225-243.
- Mott B.W. og H.R. Haines (1951) Examination of metals under polarized light. I. Theory and apparatus. II. Applications. Research 4, 24-33, 63-73.
- Mouton L. (1877, 1879) Recherches sur la réflexion métallique des rayons calorifiques obscurs et polarisés. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 84, 650-653. Sur la détermination des longueurs d'onde calorifique. 88, 1078-1082. Sjá grein E. Carvallos í 126, 728-731, 1898.
- Muralt A.L.v. og J.T. Edsall (1930) Studies in the physical chemistry of muscle globulin, III-IV. J. Biol. Chem. 89, 315-350 og 351-386.
- Murphy D.W. (1897) Spectral photometric studies. Astrophys. J. 6, 1-21.
- Mügge O. (1883) Beiträge zur Kenntniss der Structurflächen des Kalkspathes und über die Beziehungen derselben untereinander und zur Zwillingsbildung am Kalkspath und einigen anderen Mineralien. N. Jahrb. Mineral. 1883(1), 32-54, 81-85. Sjá einnig grein hans um aflögun kalkspats og fleiri kristalla í 1898(1), 71-158.
- Mülheims A. (1888) Über eine neue Art der Axenwinkelmessung und über die Bestimmung der Brechungsexponenten. Zeitschr. Krystallogr. 14, 202-236.
- Müller E. (1906) Untersuchungen über die Absorption des Lichtes in Lösungen. Ann. Phys. 21, 515-534.
- Müller E. (1907) Das optische Verhalten der kolloidalen Metalle. Ann. Phys. 24, 1-24. Mælingar á dreifðu ljósi með Bravais-plötu og Nicol-prismum.
- Müller G. (1882) Untersuchungen über die Helligkeitsänderungen in verschiedenen Theilen des Sonnenspectrums bei abnehmender Höhe der Sonne über dem Horisont. Astron. Nachr. 103, 241-252.
- Müller G. (1885) Einfluss der Temperatur auf die Brechung des Lichtes in Glas, Kalkspath und Bergkrystall. Publ. Astrophys. Obs. Potsdam 4(1), 149-216.
- Müller G. (1901) Ueber eine Combination des Zöllner'schen Astrophotometers mit dem Keilphotometer. Astron. Nachr. 154, 381-384. Um frekari þróun Zöllner-mælanna, sjá grein Müllers í 182, 197-212, 1909.

- Müller G. og P. Kempf (1894, 1899) Photometrische Durchmusterung des nördlichen Himmels, enthaltend alle Sterne der B.D. bis zur Grösse 7.5. I. Zone 0° bis +20° Declination. Publ. Astrophys. Obs. Potsdam 9, 501 bls. II. Zone +20° bis +40° Declination. 13, 466 bls. Frekari ljósmælingar birtust 1903 og 1906, og heildarskrá um 14 þúsund mælinga í Publ. 17, 1907. Mælingar á 250 stjörnum sunnan miðbaugs voru birtar af L. Terkán um 1906 og á um 5 þús. stjörnum nálægt norðurpól himins af W. Hassenstein 1926, sjá Sterken og Staubermann 2000.
- Möller W. (1885a,b) Experimentelle Untersuchung des Lichtemanationsgesetzes glühender Körper. Ann. Phys. 24, 266-281. Über das Wild'sche Photometer, 446-454.
- Nägeli C. (1862) Beobachtungen über das Verhalten des polarisirten Lichtes gegen pflanzliche Organisation. Sitzungsber. Akad. Wiss. München 1862(I), 290-324.
- Nakamura S. (1903) Ueber das Gesetz der Lichtgeschwindigkeit im Turmalin. Nachr. Gesellsch. Wiss. Göttingen 1903, 343-352.
- Nakamura S. (1905) Ueber einen Quarzhalbschattenapparat. Centralbl. Mineral. 1905, 267-279.
- Nathanson J.B. (1916) The reflecting power of the alkali metals. Astrophys. J. 44, 137-168.
- Naumann C.F. (1885) Elemente der Mineralogie, 12. útg. (endurskoðuð og aukin af F. Zirkel). W. Engelmann, Leipzig, 782 bls.
- Navier C. (1824) Mémoire sur les lois de l'équilibre et du mouvement des corps solides élastiques. Mém. Acad. Sci. Fr. 7, 375-393. Útdráttur í Bull. Soc. Philom. 1823, 177-181.
- Návrat V. (1911) Die Gesetze der diffusen Reflexion. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 120(2a), 1229-1246.
- Nelson E.M. (1902) New methods in microscope work. J. Royal Microsc. Soc. 1902, 142-147.
- Nernst W. (1906) Über die Helligkeit glühender schwarzer Körper und über ein einfaches Pyrometer. Phys. Zeitschr. 7, 380-383.
- Nernst W. og H.v. Wartenberg (1906) Über den Schmelzpunkt des Platins und Palladiums. Verh. Deutsch. Phys. Gesellsch. 8, 48-58.
- Nester J.F. og J.B. Schroeder (1967) Growth of calcite crystals from a molten flux by slow cooling. Bandarískt einkaleyfi no. 3,345,141, 5 bls. Umsókn lögð inn 1963.
- Neuberg C. (1908) Die Entstehung des Erdöls. Biochem. Zeitschr. 7, 199-212.
- Neumann C. (1864) Ueber die thermischen Axen der Krystalle des ein- und eingliedigen Systems. Ann. Phys. 114, 492-504.
- Neumann F.E. (1831) Untersuchung über die specifische Wärme der Mineralien. Ann. Phys. 23, 1-39.
- Neumann F.E. (1832a) Theorie der doppelten Strahlenbrechung abgeleitet aus den Gleichungen der Mechanik. Ann. Phys. 25, 418-454.
- Neumann F.E. (1832b) Theorie der elliptischen Polarisation des Lichtes, welche durch Reflexion von Metallflächen erzeugt wird. Ann. Phys. 26, 89-122.
- Neumann F.E. (1833) Die thermischen, optischen und krystallographischen Axen der Krystallsystems des Gypses. Ann. Phys. 27, 240-274, meira í 35, 81-95, 203-205, 1835.
- Neumann F.E. (1834) Ueber das Elasticitätsmaass crystallinischer Substanzen der homoëdrischen Abtheilung. Ann. Phys. 31, 177-192.
- Neumann F.E. (1835) Theoretische Untersuchung der Gesetze, nach welchen das Licht an der Grenze zweier vollkommen durchsichtigen Medien reflectirt und gebrochen wird. Mathem. Abh. Akad. Wiss. Berlin, 160 bls.
- Neumann F.E. (1837) Photometrisches Verfahren, die Intensität des ordentlichen und ausserordentlichen Strahlen, so wie die des reflectirten Lichts zu bestimmen. Ann. Phys. 40, 497-514. Beobachtungen über den Einfluss der Krystallflächen auf das reflectirte Licht und über die Intensität des ordentlichen und ausserordentlichen Strahls. 42, 1-29.
- Neumann F.E. (1843) Gesetze der Doppelbrechung des Lichts in comprimierten oder ungleichförmig erwärmten unkrystallinischen Körpern. Abh. Akad. Wiss. Berlin 1841(2), 254 bls. Einnig birt að hluta í Ann. Phys. 54, 449-476, 1841.

- Newcomb-Engelmann (1921) *Populäre Astronomie*, 6. útg. endurskoðuð af H. Ludendorff. W. Engelmann, Leipzig, 889 bls.
- Newton I. (1706) *Opticks*, latnesk útgáfa. Smith and Walford, London, 348 bls. Vangaveltur (queries) I.N. um tvöfalt ljósbrot komu fram þar og í annarri útgáfu verksins á ensku 1718, en voru ekki í upphaflegu ensku útgáfunni 1704.
- Nichols E.L. (1879, 1880) On the character and intensity of the rays emitted by glowing platinum. *Am. J. Sci.* 18, 446-468. Upon an optical method for the measurement of high temperatures. 19, 42-49.
- Nichols E.L. (1884) A spectro-photometric study of pigments. *Am. J. Sci.* 28, 342-348.
- Nichols E.L. og W.S. Franklin (1889) A spectro-photometric comparison of sources of artificial illumination. *Am. J. Sci.* 38, 100-114.
- Nichols E.L. og B. W. Snow (1892) Note on the selective absorption of light by optical glass and calc-spar. *Phil. Mag.* 33, 379-382.
- Nicol W. (1829) On a method of so far increasing the divergency of the two rays in calcareous-spar, that only one image may be seen at a time. *Edinb. New Philos. J.* 6, 83-84. Endursögn og talsverðar umræður eftir J. Poggendorff í *Ann. Phys.* 29, 182-186, 1833. Sú grein birtist svo endur-býdd í *Edinb. New Philos. J.* 16, 372-376, 1833.
- Nicol W. (1839) Notice concerning an improvement in the construction of the single vision prism of calcareous spar. *Edinb. New Philos. J.* 27, 332-333.
- Nies E. (1926) Über den Einfluss tiefer Temperatur auf die Reflexion von Röntgenstrahlen an Kalkspat. *Ann. Phys.* 79, 673-694.
- Noorden C.v. (1880) Beiträge zur quantitativen Spectralanalyse, insbesondere zu derjenigen des Blutes. *Zeitschr. Physiol. Chemie* 4, 9-35.
- Nordmann C. (1909a) L'espace céleste est-il un milieu dispersif? *Bull. Astr.* 26, 5-37. Sjá einnig grein hans í *Rev. Gén. Sci.* 20, 350-361 og umræðu um niðurstöður hans eftir P.R. Heyl í *Astrophys. J.* 30, 40-43, 1909.
- Nordmann C. (1909b) Méthode permettant la mesure des températures effectives des étoiles. *Premiers résultats. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 149, 557-560, framhald 662-663, 1038-1041, svo og í 156, 171, 173 og 174.
- Nutting P.G. (1903a) Über ein neues Interferenz-Photometer und über das Reflektionsvermögen von Selenium, Cyanin und Glas für ultraviolette Strahlen. *Phys. Zeitschr.* 4, 201-206, einnig í *Phys. Rev.* 16.
- Nutting P.G. (1903b) Ultra-violet rotary dispersion. *Phys. Rev.* 17, 1-25.
- Nutting P.G. (1906, 1911) A pocket spectrophotometer. *Bull. Bureau of Standards* 2, 317-318. A photometric attachment for spectroscopes. 7, 239-241.
- Nutting P.G. (1912) A new method and instrument for determining the reflecting power of opaque bodies. *Trans. Illum. Eng. Soc.* 7, 412- . Tilvitnað í grein A.H. Taylors um mælitækni fyrir dreift endurkast ljóss frá veggjum o.fl., í *J. Opt. Soc. Am.* 4, 1920.
- Nutting P.G. (1913) A new precision colorimeter. *Bull. Bureau of Standards* 9, 1-5. Sjá t.d. grein eftir L.A. Jones í *Phys. Rev.* 4, 454-466, 1913 um notkun þessa mælis.
- Nyswander R.E. (1909) The absorption and reflection of calcite and aragonite for infra-red rays as dependent upon the plane of polarization. *Phys. Rev.* 28, 291-309.
- Nörrenberg J. (1888) Ueber Totalreflexion an doppeltbrechenden Krystallen. *Ann. Phys.* 34, 843-866. Mælingar á kalkspatplötu, með aðferð Kohlrauschs.
- Oechsner de Coninck W. (1911) Poids moléculaire de la chaux; poids atomique du calcium. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 153, 1479-1480.
- Offret A. (1890) De la variation, sous l'influence de la chaleur, des indices de réfraction de quelques espèces minérales, dans l'étendue du spectre visible. *Bull. Soc. Minéral. Fr.* 13, 405-697. Útdráttur í *Zeitschr. Kristallogr.* 1893.
- Ohm G.S. (1855) Erklärung aller in einaxigen Crystallplatten zwischen geradlinig polarisirtem Lichte wahrnehmbaren Interferenz-Erscheinungen in mathematischer Form mitgetheilt. *Abh. Bayer. Akad. Wiss.* 7, 41-150, 265-370.

- Onnes H. Kamerlingh og W.H. Keesom (1908) On the equation of state of a substance in the neighbourhood of the critical point liquid-gas. II. Spectrophotometric investigation of the opalescence of a substance in the neighbourhood of the critical state. *Proc. Kon. Akad. Wet. Amsterdam* 10, 611-623.
- Onnes H. Kamerlingh, J. Becquerel og W.-J. de Haas (1925) Sur le pouvoir rotatoire de quelques minéraux paramagnétiques, aux très basses températures. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 181, 838-841. Margar fleiri greinar eftir J.B. birtust næstu árin.
- Optical Society of America (1925) Spectrophotometry. Report of O.S.A. Progress Committee for 1922-3. *J. Opt. Soc. Am.* 10, 169-242.
- Orcel J. (1972) Historical note (um þróun endurkasts-smásjáa). Viðauki í bókinni *Microscopic Study of Opaque Minerals*, eftir R. Galopin og N.F.M. Henry, 301-310. W. Heffer & Sons Ltd., Cambridge.
- Osborne T.B. og I.F. Harris (1903) The specific rotation of some vegetable proteins. *J. Am. Chem. Soc.* 25, 842-848.
- Ostwald W. (1884) Studien zur chemischen Dynamik. Dritte Abhandlung. Die Inversion des Rohrzuckers. *J. Prakt. Chemie* 29, 385-408. Framhald í 31, 307-317, 1885.
- O'Sullivan C. (1874) Sur les produits de transformation de l'amidon. *Moniteur Sci.* 16, 210-217.
- O'Sullivan C. og F.W. Tompson (1890) Invertase: a contribution to the history of an enzyme or unorganised ferment. *J. Chem. Soc.* 57, 834-931.
- Otto J.G. (1885) Untersuchungen über die Blutkörperanzahl und den Hämoglobingehalt des Blutes. *Pflügers Arch. Physiol.* 36, 12-36, 36-56, 57-72.
- Ólafur Olavíus (1780) *Oeconomisk Reise igiennem de nordvestlige, nordlige og nordöstlige Kanter af Island. Kaupmannahöfn*, 756 bls. (Á íslensku: *Ferðabók, þýð. Steindór Steindórsson frá Hlöðum*, II. bindi. Bókfellsútgáfan, Reykjavík 1965, 383 bls.)
- Paine H.S. og R.T. Balch (1925, 1927) Application of enzymes to beet sugar factory control. *Ind. Eng. Chem.* 17, 240-246. Clerget-invertase hydrolysis constants of sucrose and raffinose. *J. Am. Chem. Soc.* 49, 1019-1028.
- Panzer T. (1906) Über das sogenannte Protogon der Niere. *Zeitschr. Physiol. Chemie* 48, 519-527. Meira eftir hann um svipaðar athuganir á nýrum er í 54, 239-254, 1907-08.
- Parratt L.G. (1932) Design of a double-crystal X-ray vacuum spectrometer. *Phys. Rev.* 41, 553-560. Mælingum með tækinu er lýst í næstu grein, 561-576.
- Parsons C.L. (1918) Iceland Spar in Montana. *Science* 47, 508-509.
- Partington J.R. (1952, 1953) *An Advanced Treatise on Physical Chemistry*. Vol. 3: The Properties of Solids, 639 bls. Vol. 4: Physico-Chemical Optics. 688 bls. Longmans, Green & Co., London. Með fjölmörgum tilvitnunum í greinar varðandi þróun mælitækni. Sjá einnig bók hans *A Short History of Chemistry*, 3. útg. 1957.
- Paschen F. (1901) Ueber das Strahlungsgesetz des schwarzen Körpers. *Ann. Phys.* 4, 277-298.
- Paschen F. og E. Back (1912) Normale und anormale Zeemaneffekte. *Ann. Phys.* 39, 897-932, framhald í 40, 960-970, 1913.
- Paschen F. og H. Wanner (1899) Eine photometrische Methode zur Bestimmung der Exponentialconstanten der Emissionsfunction. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1899(I), 5-11. Þýðing í *Astrophys. J.*
- Pasteur L. (1848, 1851, 1853c) Recherches sur les relations qui peuvent exister entre la forme cristalline, la composition chimique, et le sens du pouvoir rotatoire. *Ann. Chim.* 24, 442-459, 31, 67-102, og 38, 437-483. Útdr. í *C.R.* 26, 28, 31 og 35. Sjá og J.B. Biot í *C.R.* 27, 401-411, 1848.
- Pasteur L. (1850) Recherches sur les propriétés spécifiques des deux acides qui composent l'acide racémique. *Ann. Chim.* 28, 56-99, útdr. í *C.R.* 29, 297-300, 1849.
- Pasteur L. (1853a) Transformation des acides tartriques en acide racémique. Découverte de l'acide tartrique inactif. Nouvelle méthode de séparation de l'acide racémique en acides tartriques droit et gauche. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 37, 162-166.
- Pasteur L. (1853b) Recherches sur les alcaloïdes des quinquinas. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 37, 110-114. Sjá einnig um quinidine í 36, 26-27.
- Pasteur L. (1856) Note sur le sucre de lait. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 42, 347-351.

- Pasteur L. (1858) Mémoire sur la fermentation de l'acide tartrique. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 46, 615-618.
- Pasteur L. (1860) Note relative au *Penicillium glaucum* et à la dissymétrie moléculaire des produits organiques naturels. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 51, 298-299.
- Paul J.R. (1925) The optical activity of glucose as influenced by normal and diabetic urine. *J. Clin. Investig.* 1, 317-331.
- Paulsen A. (1893) *Naturkræfterne, I. Bindi, 2. útg.* P.G. Philipsens Forlag, Kbh., 853 bls.
- Pauthenier P. (1932) La biréfringence électrique des liquides isolants et son application au cinema sonore. *Rev. Sci.* 70, 737-744.
- Payen A. og J. Persoz (1833) Mémoire sur la diastase, les principaux produits de ses réactions et leurs applications aux arts industriels. *Ann. Chim.* 53, 73-92.
- Payen A. og J. Persoz (1834) Mémoire sur l'amidon (substance intérieure de la fécule) et suite de recherches sur la diastase. *Ann. Chim.* 56, 337-371. Sjá einnig stóra grein Payens í *Mém. Sav. Étr.* 8, 209-372, 1843.
- Peck A.B. (1919) Applications of the polarizing microscope in ceramics. *J. Am. Ceramic Soc.* 2, 695-707.
- Peirce C.S. (1878) Photometric researches made in the years 1872-1875. *Ann. Harvard Coll. Astron. Observ.* 9, 184 bls. Birtumælingar með Zöllner-tæki.
- Pellat H. (1896) *Polarisation et Optique Cristalline.* Carré, Paris, 285 bls.
- Pellat H. (1901) Mesure du pouvoir rotatoire du sucre. Sa variation avec la température et la longueur d'onde. *Ann. Chim.* 23, 289-316.
- Pellin P. (1897) Appareil de projection des lames de roches, dans la lumière polarisée de M. Munier-Chalmas. *C.R. Assoc. Fr.* 18(1), 258-259.
- Pellin P. (1899) *Instruments d'Optique et de Précision, I^{er} & II^e Fasc., 44 bls., III^e Fasc., 32 bls., IV^e Fasc., 44 bls., V^e Fasc., 35 bls., VIII^e Fasc., 24 bls.* Verðlisti með myndum.
- Pellin P. (1903) Polarimètres et saccharimètres. *J. Phys.* 2, 436-442. Sögulegt yfirlit.
- Pelouze J. (1852) Sur une nouvelle matière sucrée extraite des baies de sorbier. *Ann. Chim.* 35, 222-235.
- Pereira J. (1846). *Lectures on Polarised Light.* Longman, Brown and Green, London, 110 bls. 2. útg. mjög aukin kom 1854.
- Perkin W.H. (1884) On the magnetic rotatory polarisation of compounds in relation to their chemical constitution. *J. Chem. Soc.* 45, 421-580.
- Perkin W.H. (1896) On magnetic rotatory power, especially of aromatic compounds. *J. Chem. Soc. Trans.* 69, 1025-1257.
- Pernter M. (1901) Untersuchungen über die Polarisation des Lichtes in trüben Medien und des Himmelslichtes mit Rücksicht auf die Erklärung der blauen Farbe des Himmels. *Denkschr. Akad. Wiss. Wien* 73, 301-328.
- Perrin F. (1925) Théorie de la fluorescence polarisée (Influence de la viscosité). *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 180, 581-583. Sjá einnig *J. Phys.* 7, 390-401, 1926.
- Perrin F. (1929) La fluorescence des solutions. *Ann. de Phys.* 12, 169-275.
- Peters J. (1894) Ein Halbschatten-Saccharimeter in neuer Form. *Zeitschr. Ver. Rübenz.-Ind.* 44 (Th. 2), 221-222.
- Pfaff F. (1861) Ueber die thermischen Verhältnisse der Krystalle. *Ann. Phys.* 113, 647-654.
- Pfestorf G. (1926) Die Bestimmung der optischen Konstanten von Metallen im sichtbaren und ultravioletten Teil des Spektrums. *Ann. Phys.* 81, 906-927.
- Pflüger A. (1898) Prüfung der Ketteler-Helmholtz'schen Dispersionsformeln an den optischen Constanten anomal dispergirender, fester Farbstoffe. *Ann. Phys.* 65, 173-213, 225-228.
- Pickering E.C. (1879) Photometric Observations. *Ann. Harvard Coll. Astron. Observ.* 11, Part I, 189 bls. Lýsing mælitækja er á bls. 1-8, sjá einnig *Nature* 21, 23-26.
- Pickering E.C. (1882) The meridian photometer. *Monthly Not. Royal Astron. Soc.* 42, 365-367.
- Pickering E.C. (1886) A new form of polarimeter. *Proc. Am. Acad.* 21, 294-302.

- Pickering E.C. (1895) A new form of stellar photometer. *Astrophys. J.* 2, 89-96, 1895. Svipaður mælir var settur upp í Lick-stjörnustöðinni í Kaliforníu, sjá *Publ. Astron. Soc. Pacific* 9, 184-186, 1897.
- Pickering E.C., A. Searle og O.C. Wendell (1884) Observations with the Meridian Photometer. *Ann. Harvard Coll. Astron. Observ.* 14, Part I, 324 bls. Ljósmaelinum er lýst þar á bls. 1-5. Niðurstöður og lýsingar á öðrum ljósmælum Pickerings voru birtar m.a. í bindum 23, 24, 34, 44, 45, 46, 50, 54, 64 og 69 (sjá Wendell 1909) af þessum áttálfum á árunum 1889-1912.
- Pictet A. og A. Rotschy (1904) Synthese des Nicotins. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 37, 1225-1235.
- Piesse S. (1903) *Chimie des Parfums*. J.-B. Baillièrre et Fils, París, 380 bls.
- Piganiol P. (1947) *Macromolécules. Matériaux de Synthèse I*. Dunod, París, 275 bls.
- Pionchon J. (1895) Sur une méthode optique d'étude des courants alternatifs. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 120, 872-874.
- Pirani M.v. (1910) Über die Messung der wahren Temperatur von Metallen. *Verh. Deutsch. Phys. Gesellsch.* 12, 301-348.
- Pisani M. v. (1906) Über Dielektricitätsconstanten fester Körper. *Zeitschr. Krystallogr.* 41, 314-315, útdráttur úr doktorsritgerð.
- Plaats B.J. v.d. (1915) Untersuchung über Absorption und Dispersion des Lichtes in Farbstofflösungen. *Ann. Phys.* 47, 429-462.
- Planck M. (1900) Ueber irreversible Strahlungsvorgänge. *Ann. Phys.* 1, 69-122.
- Plücker J. (1839) Discussion de la forme générale des ondes lumineuses. *Crelle J. Mathem.* 39, 1-44, 91-92.
- Plücker J. (1847) Ueber die Abstossung der optischen Axen der Krystalle durch die Pole der Magnete. *Ann. Phys.* 72, 315-343. Hér eru m.a. tilraunir á kalkspati.
- Plücker J. og A. Beer (1850) Ueber die magnetische Axen der Krystalle und ihre Beziehung zur Krystallform und zu den optischen Axen. *Ann. Phys.* 157, 115-162.
- Plyler E.K. (1929) The near infra-red absorption spectra of calcite and strontianite. *Phys. Rev.* 33, 948-951.
- Pockels F. (1889) Ueber den Einfluss elastischer Deformationen, speciell einseitigen Drucks, auf das optische Verhalten krystallinischer Körper. *Ann. Phys.* 37, 144-172, 269-305, 372-388. Framhald í 39, 440-469, 1890.
- Pockels F. (1890) Ueber die Aenderungen des optischen Verhaltens und die elastischen Deformationen dielektrischer Krystalle im elektrischen Felde. *N. Jahrb. Mineral. Beilage.* 7, 201-231.
- Pockels F. (1894) Ueber den Einfluss des elektrostatischen Feldes auf das optische Verhalten piezoelektrischer Krystalle. *Abh. Gesellsch. Wiss. Göttingen* 39, 204 bls.
- Pockels F. (1902) Über die Änderung des optischen Verhalten verschiedener Gläser durch elastische Deformationen. *Ann. Phys.* 7, 745-771 og 9, 220-223.
- Pockels F. (1903) Über die Änderung der Lichtfortpflanzung in Kalkspat durch Deformationen. *Ann. Phys.* 11, 726-753.
- Pockels F. (1906) *Lehrbuch der Kristalloptik*. B.G. Teubner, Leipzig/Berlin, 519 bls.
- Pocklington H.C. (1901) On rotatory polarization in biaxial crystals. *Phil. Mag.* 2, 361-370.
- Pogány B. (1916) Über spezifischen Widerstand und optische Konstanten dünner Metallschichten. *Ann. Phys.* 49, 531-568.
- Pohl J.J. (1856) Ueber die Verwendbarkeit des Mitscherlich'schen Polarisations-Saccharimeters zu chemisch-technischen Proben. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 21, 492-520.
- Pohl R. og P. Pringsheim (1914) *Die Lichtelektrischen Erscheinungen*. Fr. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 114 bls.
- Poincaré H. (1889, 1892) *Théorie Mathématique de la Lumière*. G. Carré, París, I., 408 bls. II., 310 bls. Endurútgöfn af Jacques Gabay, París 1995.

- Poisson S.D. (1829) Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques. *Mém. Acad. Sci. Fr.* 8, 357-570, 623-627. Stytt í *Ann. Chim.* 37, 337-355, 1828. Mikil viðbót er í *J. École Polytechn.* 13 (cah. 20), 1-174, 1831 (tilvitnað af Verdet 1869 og Timoshenko 1953).
- Poisson S.D. (1830) Mémoire sur la propagation du mouvement dans les milieux élastiques. *Mém. Acad. Sci. Fr.* 10, 549-605. Einnig í *Ann. Chim.* 44, 423-433.
- Poisson S.D. (1842) Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps cristallisés. *Mém. de l'Institut* 18, 3-152. Stutt kynning er í *C.R.* 9, 517-519, 1839. Sjá einnig grein um sama efni eftir P.-H. Blanchet í *Liouville J. Mathém.* 5, 1-30, 1840.
- Pollard A.F.C. (1938) Polarization of light and some technical applications. *Nature* 138, 311-314.
- Pope W. J. og S.J. Peachey (1899) Asymmetric optically active nitrogen compounds. *J. Chem. Soc. Trans.* 75, 1127-1131. Sur les nouveaux composés asymétriques de l'azote obtenus par synthèse et doués du pouvoir rotatoire. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 129, 767-768, sjá einnig grein W. Marckwalds í *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 32, 3508-3510.
- Porter A.B. (1907) Catalogue D, Optical Parts. The Scientific Shop (Albert B. Porter), Chicago, 48 bls. Iceland spar preparations eru á bls. 36-38.
- Potter R. (1857) On the principle of Nicol's rhomb, and on some improved forms of rhombs for procuring beams of polarized light. *Phil. Mag.* 14, 452-457, meira um samsett prismu í 16, 419-421, 1858.
- Powell B. (1830-31) Remarks on the alleged polarization of heat. *Edinb. J. Sci.* 3, 297-306. Further remarks... eru í 5, 206-209.
- Powell B. (1835) Abstract of M. Cauchy's „Undulatory theory of light“. *Phil. Mag.* 6, 16-25, 107-113, 189-193, 262-267. Meira um svipuð mál er í 12, 1856.
- Powell B. (1842) On apparatus for applying circular polarization to chemical inquiries. *British Assoc. Report* 12, pt. ii, 32. Nánar í *Phil. Mag.* 22, 241-245, 1843 og *Ann. Phys.* 59, 640-641, 1843.
- Powell B. (1843) Observations on certain cases of elliptic polarization of light by reflection. *Phil. Trans. Royal Soc.* 133, 35-44. Nánar um speglun frá málmum er í 135, 269-282, 1845.
- Poynting J.H. (1880) On a simple form of saccharimeter. *Phil. Mag.* 10, 18-21.
- Pozzi-Escot M.-E. (1900) Sur une nouvelle méthode d'analyse chimique: analyse quantitative microchimique. *Rev. Phys. Chim. Appl. Ind.* 4, 49-60.
- Prazmowski A. (1873) Modification du saccharimètre optique. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 76, 1212-1214.
- Preston T. (1895) *The Theory of Light*, 2. útg. Macmillan & Co., London, 574 bls.
- Preston T. (1899) Radiation phenomena in the magnetic field. *Nature* 59, 224-229. Meira á bls. 248 og 367, einnig 61, 11-13.
- Prideaux E.B.R. (1915) General equations for the neutralisation of dibasic acids, and their use to calculate the acidity of dilute carbonate solutions. *Proc. Royal Soc.* A91, 535-543.
- Priest I.G. (1918) A precision method for producing artificial daylight. *Phys. Rev.* 11, 502-504.
- Priest I.G. (1920) A new study of the leucoscope and its application to pyrometry. *J. Opt. Soc. Am.* 4, 448-495.
- Priest I.G. (1921) A method of obtaining radiant energy having the visible spectral distribution of a complete radiator at very high temperatures. *J. Opt. Soc. Am.* 5, 178-183. M.a. um litrófsdreifingu í rafljósum, framhald er í 7, 1175-1209, 1923.
- Pringsheim H. (1925) *Zuckerchemie*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 322 bls.
- Provostaye F. de la og P. Desains (1849) Mémoire sur la polarisation de la chaleur. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 29, 121-125, 757-758. Frekari niðurstöður eru í 29, 352-355; 31, 19-22, 1850, og í *Ann. Chim.*
- Provostaye F. de la og P. Desains (1851) Mémoire sur la polarimétrie de la chaleur. *Ann. Chim.* 32, 112-127. Stytt í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 32, 86-90 og 33, 444-447.
- Provostaye F. de la og P. Desains (1854) Note sur la détermination des pouvoirs émissifs des corps pour la lumière. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 38, 977-978. Nánari gögn og umræða eftir P.D. eru í 61, 24-27, 1865.

- Pulfrich C. (1887) Ueber die Totalreflexion an doppeltbrechenden Krystallen. N. Jahrb. Mineral. Beilageb. 5, 167-194.
- Pulfrich C. (1925) Über ein den Empfindungsstufen des Auges tunlichst angepasstes Photometer, Stufenphotometer genannt, und über seine Verwendung als Farbmesser, Trübungsmesser, Kolloidometer, Kolorimeter und Vergleichsmikroskop. Zeitschr. Instrumentenk. 45, 35-44, 61-70, 109-120. Framhald um litmælingar 521-530.
- Purdie T. og J.W. Walker (1892) Resolution of lactic acid into its optically active constituents. J. Chem. Soc. 61, 754-765.
- Purgold A. (1881) Ueber einige Kalkspath-Krystalle. Isis Abh. 1881, 59-61.
- Putzeys P. og J. Brosteaux (1935) The scattering of light in protein solutions. Trans. Faraday Soc. 1935, 1314-1325.
- Quincke G. (1862) Über die Lage der Schwingungen der Äthertheilchen in einem geradlig polarisirten Lichtstrahle. Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin 1862, 714-721, einnig í Ann. Phys. 118, 445-452. Meira m.a. í Ann. Phys. 146, 1872 og 149, 1873.
- Quincke G. (1863) Ueber die optischen Eigenschaften der Metalle. Ann. Phys. 119, 368-388. Framhald í 120, 599-605. Meira m.a. í 128, 355-399 og 129, 207-218, 1866.
- Rabe P. og K. Kindler (1918) Über die partielle Synthese des Chinins. Ber. Deutsch. Chem. Gesellschaft. 51, 466-467, ein af yfir 20 greinum þeirra um kína-alkaloída.
- Radicke G. (1840) Über Vervollkommung der Nicol'schen Polarisationsprismen. Ann. Phys. 126, 25-34.
- Raman C.V. (1922) On the molecular scattering of light in water and the colour of the sea. Proc. Royal Soc. A101, 64-80.
- Raman C.V. (1928) A new radiation. Indian J. Phys. 2, 387-398.
- Raman C.V. og K.S. Krishnan (1928) A new type of secondary radiation. Nature 121, 501-502. Viðbót eftir C.V.R. er á bls. 619.
- Raman C.V. og K.S. Rao (1923) On the polarization of light scattered by gases and vapours. Phil. Mag. 46, 426-434.
- Rankin G.A. og F.E. Wright (1915) The ternary system $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Am. J. Sci. 39, 1-79. Þýðing í Zeitschr. Anorg. Chemie 92, 213-292, 1915. Bráðabirgðaniðurstöður varðandi Portland sement komu í J. Ind. Eng. Chem. 3, 211-215, 1911.
- Rankine W.M. (1851, 1853) On the vibrations of plane-polarized light. Phil. Mag. 1, 442-447. A general view of an oscillatory theory of light. 6, 403-414.
- Rasetti F. (1940) Scattering of thermal neutrons by crystals. Phys. Rev. 58, 321-325.
- Rath G. v. (1867) Mineralogische Notizen. Ann. Phys. 132, 372-404, 517-550.
- Rath G. v. (1868) Ueber den Tridymit, eine neue krystallisirte Modification der Kieselsäure. Ann. Phys. 135, 437-454.
- Ratz F. (1905) Über Nicotin und dessen optisches Drehungsvermögen, I. Monatsh. Chemie 26, 1241-1252.
- Ray G.B., H.A. Blair og C.I. Thomas (1932) The spectrophotometric determination of certain blood pigments. J. Biol. Chem. 98, 63-83.
- Rayleigh (1881a) On the electromagnetic theory of light. Phil. Mag. 12, 81-101.
- Rayleigh (1881b) Experiments on colour. Nature 25, 64-66.
- Rayleigh (1888) On the reflexion of light at the twin plane of a crystal. Phil. Mag. 26, 241-255, framhald 256-265.
- Rayleigh (1899) On the transmission of light through an atmosphere containing small particles in suspension, and the origin of the blue of the sky. Phil. Mag. 47, 375-384. (Ath.: L.V. Lorenz mun hafa fengið sömu niðurstöður í ritgerð á dönsku 1890).
- Rayleigh (1901) On the stresses in solid bodies due to unequal heating, and on the double refraction resulting therefrom. Phil. Mag. 1, 168-178.

- Rayleigh (1902a,b) Is rotatory polarization influenced by the Earth's motion? *Phil. Mag.* 4, 215-220. Tilraunin notaði litrófssjá P.G. Tait's sem byggði á optiskri virkni kvars (*Nature* 22, 360-361, 1880). Does motion through the aether cause double refraction? 678-683. Þarna voru mæld Kerr-hrif í vökvaröri sem mátti snúa.
- Rayleigh yngri (1919) Scattering of light by solid substances. *Proc. Royal Soc.* A95, 476-478. M.a. silfurberg.
- Rayleigh yngri (1920) A re-examination of the light scattered by gases with respect to polarisation I. Experiments on the common gases. *Proc. Royal Soc.* A97, 435-450. Framhald um eðalgös er í A98, 57-65, 1921. Sjá einnig A94, 453-459, 1918.
- Rayleigh yngri (1921) Double refraction and crystalline structure of silica glass. *Proc. Royal Soc.* A98, 284-295.
- Rayleigh yngri (1922) Polarisation of light scattered by mercury vapour near the resonance periodicity. *Proc. Royal Soc.* A102, 190-196.
- Reed J.O. (1898) Ueber den Einfluss der Temperatur auf die Brechung und Dispersion einiger Krystalle und Gläser. *Ann. Phys.* 65, 707-744.
- Reusch E. (1866-67) On the effect of pressure upon rock salt and Iceland spar. *Proc. Royal Soc. Edinb.* 6, 134-139.
- Reusch E. (1867) Über eine besondere Gattung von Durchgängen in Steinsalz und Kalkspath. *Ann. Phys.* 132, 441-451, einnig í *Monatsber. Akad. Wiss. Berlin* 1867, 220-227. Weitere Bemerkungen... um þetta eru í *Ann. Phys.* 147, 307-311, 1872.
- Reusch E. (1870) Untersuchungen über Glimmerkombinationen. *Ann. Phys.* 138, 628-638. Nánar m.a. í grein eftir L. Sohncke í *Ergänzungsband* 8, 16-64, 1876.
- Ribaud G. (1919) Contribution à l'étude de l'absorption de la lumière par les gaz. *Ann. de Phys.* 12, 107-226.
- Ribaud G. (1931) *Traité de Pyrométrie Optique*. *Revue d'Optique*, Paris, 485 bls.
- Richards T.W. (1902) A redetermination of the atomic weight of calcium – preliminary paper. *J. Am. Chem. Soc.* 24, 374-377. Sjá nánar í 32, 1577-1590, 1910.
- Richardson S.W. (1915) Some experiments on the properties of dielectrics. *Proc. Royal Soc.* A92, 41-57. Meira um rafleiðni 101-107.
- Richtmyer F.K., S.W. Barnes og E. Ramberg (1934) The widths of the L-series lines and of the energy levels of Au(79). *Phys. Rev.* 46, 843-860.
- Riddell W.P. (1853) On Soleil's saccharimeter. *Am. J. Sci.* 15, 175-186.
- Righi A. (1883) Sur les changements de longueur d'onde obtenus par la rotation d'un polariseur, et sur le phénomène des battements produits avec les vibrations lumineuses. *J. Phys.* 2, 437-446. Upp úr *Mem. Accad. Sci. Bologna*.
- Righi A. (1885, 1886, 1887) Recherches expérimentales et théoriques sur la lumière polarisée, réfléchie par le pôle d'un aimant. *Ann. Chim.* 4, 433-515. Framhald í 9, 65-144 og í 10, 200-223. Þýtt úr ritum *Reale Accademia dei Lincei*.
- Righi A. (1893) Quale sia il piano di polarizzazione per le oscillazioni hertziane. *Atti R. Accad. Lincei, Rend.* 2 (2. Sem.) 73-78, 157-162.
- Rignoux G. (1914) Dispositif pour la vision à distance. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 159, 301-304. Kynnt í *Scientific American Supplement* no. 2055, 1915.
- Riiber C.N. og J. Minsaas (1926) Eine dritte Modifikation der Galaktose (VII. Mitteilung über Mutarotation). *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 59, 2266-2281.
- Rinne F. (1903) Beitrag zur Kenntniss der Umformung von Kalkspathkrystallen und von Marmor unter allseitigem Druck. *N. Jahrb. Mineral.* 1903(1), 160-178.
- Rinne F. (1914) Die Kristallwinkelveränderung verwandter Stoffe beim Wechsel der Temperatur. *Centralbl. Mineral.* 1914, 705-718.
- rinne F. (1922a) Einführung in die Kristallographische Formenlehre, 4.-5. útg. Max Jänecke, Leipzig, 254 bls.
- Rinne F. (1922b) Das Feinbauliche Wesen der Materie nach dem Vorbilde der Kristalle, 2.-3. útg. Gebr. Borntraeger, Berlin, 168 bls. Ensk þýðing 1924.

- Rinne F. (1928) *Kristallographisches zum Kalkbrennen*. Í: Victor Goldschmidt Festschrift, ritstj. H. Himmel, 213-220. Portheim Stiftung, Heidelberg.
- Rinne-Berek (1953) *Anleitung zu Optischen Untersuchungen mit dem Polarisationsmikroskop*, 2. útg. Schweizerbart, Stuttgart, 366 bls.
- Rinner K. og Benz F. (1966) *Í Handbuch der Vermessungskunde*, 10. útg., Band VI (Die Entfernungsmessung mit elektro-magnetischen Wellen und ihre geodätische Anwendung), 172-404. J.B. Metzler Verlag, Stuttgart.
- Ritter J.W. (1803) *Versuche über das Sonnenlicht*. *Ann. Phys.* 12, 409-415. Smáklausa um útfjólublátt ljós eftir J.W.R. kom í 7, 527, 1801, sjá t.d. Wollaston 1802a.
- Robiquet E. (1856) *Description du diabétomètre. Appareil destiné à doser le sucre dans les urines diabétiques*. *J. Pharm.* 29, 371-374 ásamt leiðbeiningum í 30, 277-281. Útdráttur í *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 43, 920-921. Mynd af sykursýkismæli þessarar tegundar er í grein C. Bernards í *Rev. Sci.* 2, 970-977, 1873.
- Rochon A. (1777) *Deux instruments destinés à mesurer les angles, ou plutôt les distances angulaires...* *Histoire de l'Académie Royale des Sciences 1777*, 64-68. Sjá og J.-S. Bailly: *Histoire de l'Astronomie Moderne III*, 1785.
- Rochon A. (1811) *Experiences sur la formation de la double image, et sur sa disparition dans le spath d'Islande et dans le cristal de roche, appliquées au perfectionnement de tous les micromètres composés de ces deux substances*. *J. Phys.* 72, 319-332.
- Rochon A. (1812) *Ein Winkel- und Distanzmesser mittels der doppelten Bilder des isländischen Kristalls*. *Ann. Phys.* 40, 140-144. Endursögn greina úr tímaritinu *De Lambre's Notices des Travaux*, frá árunum IX og XI (að tímatali byltingarmanna, þ.e. um 1803). Einnig ritaði hann grein um kvars-prisma, *Nouvelles recherches sur les micromètres destinés à la mesure du diamètre du Soleil et description et usage d'un micromètre de cristal de roche appliqué à des opérations de tactique navale*. *J. Mines* 31, 281-308, 1812. Sjá Torelli de Narci 1803.
- Rolfe G.W. (1905) *The Polariscope in the Chemical Laboratory*. Macmillan Co., New York, 320 bls.
- Romé Delisle J.B.L. de (1772, 1783) *Essai de Cristallographie, ou Description des Figures Géométriques...* Didot, Paris, xxxii + 427 bls. *Cristallographie ou Description des Formes Propres à tous le Corps du Regne Minéral.....*, 4 bindi ásamt viðbótarbindi 1784, París.
- Romich -. og J. Nowak (1874) *Experimentaluntersuchung dielektrischer Körper in Bezug auf ihre dielektrische Nachwirkung*. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien* 70(2), 380-407.
- Root E. (1876) *Zur Kenntniss der dielektrischen Polarisation*. *Ann. Phys.* 158, 1-35, 425-461. Sjá einnig Rowland og Nichols 1881.
- Rose E. (1865) *Die Farbenkrankheiten im Abriss*. *Ann. Phys.* 126, 68-87.
- Rose G. (1837) *Ueber die Bildung des Kalkspaths und Arragonits*. *Ann. Phys.* 42, 353-367. Einnig ritaði hann aðra grein löngu seinna: *Ueber die heteromorphen Zustände der kohlensauren Kalkerde*, *Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch.* 8, 543-552, 1856.
- Rose G. (1864) *Eilhardt Mitscherlich. Gedächtnissrede*. *Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch.* 16, 21-72. Nánar: *Ueber die Entdeckung der Isomorphie*, 20, 621-630, 1868.
- Rose G. (1868) *Über die in Kalkspath vorkommenden hohlen Kanäle*. *Abh. Akad. Wiss. Berlin* 1868, *Phys. Kl.*, 57-79.
- Rose W.J. (1909) *A system of standard solutions*. *Chem. Eng.* 10, 204-206.
- Rosén P.G. (1870) *Studien und Messungen an einem Zöllnerschen Astro-Photometer*. *Bull. Acad. Impér. Sci. St.-Pétersb.* 14, 95-124.
- Rosenberg H. (1921) *Photometrische Messungen der Mondoberfläche und das Flächenphotometer der Sternwarte Österberg*. *Astron. Nachr.* 214, 137-146.
- Rosenberg K. (1924) *Experimentierbuch für den Unterricht in der Naturlehre. Zweiter Band*, 4. Auflage. Hölder-Pichler-Tempsky A.G., Wien, 629 bls.
- Rosenbusch H. (1876) *Ein neues Mikroskop für mineralogische und petrographische Untersuchungen*. *N. Jahrb. Mineral.* 1876, 504-513.

- Rosenbusch H. (1885, 1892, 1904, 1924) Mikroskopische Physiographie der Petrographisch Wichtigen Mineralien. 2. útg. 664 bls. 3. útg., 712 bls. 4. útg. endurskoðuð af E.A. Wülfing, fyrri hluti, 467 bls. 5. útg. I, fyrri hluti, 846 bls. E. Schweizerbart, Stuttgart.
- Rosenfeld L. (1928) Quantenmechanische Theorie der natürlichen optischen Aktivität von Flüssigkeiten und Gasen. Zeitschr. Phys. 52, 161-174.
- Ross P.A. (1923) Change in wave-length by scattering. Proc. Nat. Acad. Sci. 9, 246-248.
- Ross P.A. og P. Kirkpatrick (1934) Effect of electron binding upon the magnitude of the Compton shift. Phys. Rev. 46, 668-673.
- Rowland H. A. og W. W. Jacques (1879) On the diamagnetic constants of bismuth and calc-spar in absolute measure. Am. J. Sci. 18, 360-368, 368-371.
- Rowland H.A. og E.L. Nichols (1881) Electric absorption of crystals. Phil. Mag. 11, 414-419. Sjá Richardson 1915, sem fékk aðrar niðurstöður.
- Rubens H. (1911) Über langwellige Reststrahlen des Kalkspats. Verhandl. Deutsch. Phys. Gesellsch. 13, 102-110.
- Rubenson R. (1865) Mémoire sur la polarisation de la lumière atmosphérique. Upsala Nova Acta Soc. Sci. 5, 1-145 og i-xcii. Sjá einnig grein T.R. Thaléns í Öfvers. Kungl. Sv. Akad. 19, 29-56, 1862.
- Rudberg F. (1828) Untersuchungen über die Brechung des farbigen Lichts im Bergkrystall und Kalkspath. Ann. Phys. 14, 45-57.
- Rudberg F. (1829) Untersuchung über die Brechung des farbigen Lichts im Arragonit und im farblosen Topase. Ann. Phys. 17, 1-29.
- Rudberg F. (1831) Sur la réfraction des rayons différemment colorés dans les cristaux à un et deux axes optiques. Ann. Chim. 48, 225-268. Einnig í Phil. Mag. 1, 1-9, 137-147, 409-417, 1832 (með athugasemdum D. Brewsters).
- Runge C. (1888) On the harmonic series in the spectra of the elements. British Assoc. Report 58, 576-577. Nánar í greinum eftir Kayser og Runge (1888 og síðar).
- Runge C. og F. Paschen (1902) On the radiation of mercury in the magnetic field. Astrophys. J. 15, 235-251, og framhaldsgreinar m.a. On the separation of corresponding series lines in the magnetic field. 16, 123-134.
- Rupp E. (1928) Eine neue Anordnung zum Nachweis der Teilfrequenzen bei Lichtwellen periodisch schwankender Intensität. Zeitschr. Phys. 47, 72-88.
- Rutley F. (1879) An English microscope for the use of students of mineralogy and petrology. Nature 20, 13-14.
- Rydberg J.R. (1890) Recherches sur la constitution des spectres d'émission des éléments chimiques. Kungl. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar 23, no. 11, 155 bls. Útdráttur í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 110, 394-397. Sjá einnig greinar W. Ritz um vensl milli litrófa efna, t.d. í Ann. Phys. 12, 264-310, 1903.
- Röntgen W.C. (1880) Ueber die von Herrn Kerr gefundene neue Beziehung zwischen Licht und Elektrizität. Ann. Phys. 10, 77-92.
- Röntgen W.C. (1883) Ueber die durch elektrische Kräfte erzeugte Änderungen der Doppelbrechung des Quarzes. Ann. Phys. 18, 213-228, 534-551. Athugasemd hans um svipaðar rannsóknir A. Kundts er í 19, 319-322.
- Röntgen W.C. (1896) On a new kind of rays. Nature 53, 274-276, þýðing. Upphaflegar greinar birtust í Sitzungsber. Würzb. Phys. Med. 1895, 132-141 og 1896, 11-19.
- Röntgen W.C. (1907) Über die Leitung der Elektrizität in Kalkspat und über den Einfluss der X-Strahlen darauf. Sitzungsber. Bayer. Akad. Wiss. 1907, 113-114, útdráttur erindis.
- Sabatier P. (1887) Spectres d'absorption des chromates alcalins et de l'acide chromique. Ann. Fac. Sci. Toulouse 1(1), 11 bls.
- Sagnac G. (1904) Vérifications expérimentales des lois de la propagation anormale de la lumière le long l'axe d'un instrument d'optique. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 138, 619-621, framhald 678-680. Vitnar í svipaða tilraun gerða af P. Zeeman.
- Sagnac G. (1911) Strioscope et striographe interférentiels. Le Radium 8, 241-253.

- Sagnac G. (1913) L'éther lumineux démontré par l'effet du vent relatif d'éther dans un interféromètre en rotation uniforme. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 157, 708-710, framhald 1410-1413. *Meira í J. Phys. Radium* 4, 177-195, 1914.
- Saillard É. (1913) Betterave et Sucrerie de Betteraves, 2. útg., úr bókasyrpunni *Encyclopédie Agricole*, ritstj. G. Wery. J.-B. Baillière et Fils, París, 618 bls.
- Saint-Martin L.-G. de (1900) Nouvelles recherches sur le pouvoir absorbant de l'hémoglobine pour l'oxygène et l'oxyde de carbone. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 131, 506-509.
- Saint-Venant B. de (1872) Sur les diverses manières de présenter la théorie des ondes lumineuses. *Ann. Chim.* 25, 335-381.
- Salet P. (1910) Sur l'étude de la polarisation en astronomie, *Ann. Obs. Paris* 27, C1-C59, 1910. Útdráttur í *Le Radium* 8, 156-158, 1911. Um rannsóknir hans á sólmyrkva 1905, sjá *Sur la polarisation de la couronne solaire. Bull. Soc. Astr. Fr.* 23, 287-291, 1909.
- Salomons D. (1893) A new form of portable photometer. *J. Inst. Electr. Engineers* 22, 197-214.
- Salomonson J.K.A.W. (1921) A new ophthalmoscope. *Trans. Opt. Soc.* 22, 53-62.
- Sang E. (1891) Investigation of the action of Nicol's polarising eye-piece. Erindi flutt í *Royal Society of Edinburgh* 1837. Grein um efni erindisins var hinsvegar ekki birt fyrr en mjög löngu seinna: *Proc. Royal Soc. Edinb.* 18, 323-336, 1890-91, ásamt Note on Dr. Sang's paper eftir P.G. Tait, 337-340.
- Sanson F. (1885) Ueber die Kristallformen des Andreasberger Kalkspath. *Zeitschr. Krystallogr.* 10, 545-560. Hann hefur einnig skrifað greinar um aðra fundarstaði kalkspatkristalla.
- Santon L. (1928) Sur les mesures photométriques par disparition de franges. *Revue d'Optique* 7, 487-494. Notar Savart-plötu úr silfurbergi.
- Sarasin E. (1882) Indices de réfraction ordinaire et extraordinaire du spath d'Islande, pour les rayons de diverses longueurs d'onde jusqu'à l'extrême ultraviolet. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 680-682, einnig í *Arch. Sci. Phys. Nat.* 8, 392-394.
- Savart F. (1829) Recherches sur l'élasticité des corps qui cristallisent régulièrement. *Ann. Chim.* 40, 5-30, 113-137. Stytt í *Ann. Phys.* 16, 206-248.
- Savart F. (1840) [Fyrsta lýsing á polariskopi hans (Savart-plötu) virðist vera eftir J. Poggendorff í *Ann. Phys.* 125, 292, neðanmáls við frásögn af mælingum á skautun norðurljósa].
- Schaefer C. og M. Schubert (1916) Kurzwellige ultrarote Eigenfrequenzen der Sulfate und Karbonate. *Ann. Phys.* 50, 283-338. Nánar m.a. í grein C.S., *Die Eigenschwingungen der Kristalle. Fortschr. Mineral. Kristallogr. Petrogr.* 9, 31-66, 1924.
- Schaefer C., C. Bormuth og F. Matossi (1926) Das ultrarote Absorptionsspektrum der Carbonate. *Zeitschr. Phys.* 39, 648-659.
- Schaefer C., F. Matossi og H. Aderhold (1930a,b) Untersuchungen über den Ramaneffekt an Kristallen. *Zeitschr. Phys.* 65, 289-318. Die Polarisation der Ramanstrahlung in Kristallen, 319-329.
- Schaik W.C.L. van (1882) Recherches concernant la dispersion électromagnétique sur un spectre de grande étendue. *Arch. Néerl.* 17, 373-390.
- Scharff F. (1870) Über den Einfluss des Zwillingsbaues auf die Gestaltung der Krystalle des Kalkspaths. *N. Jahrb. Mineral.* 1870, 542-558.
- Scheffer W. (1919) Ein neues Universalmikroskop. *Zeitschr. Wissensch. Mikrosk.* 36, 1-16.
- Scheibler C. (1873) Ueber das Vorkommen der Arabinsäure (Gummi) in den Zuckerrüben und über den Arabinzucker (Gummizucker). *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 6, 612-622.
- Scheibler C. (1885) Ueber die Zusammensetzung und einige Eigenschaften der Raffinose. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 18, 1779-1786.
- Schein M. (1928) Über die Feinstruktur und den Zeemaneffekt der Quecksilberresonanzlinie. *Ann. Phys.* 85, 257-312.
- Schepelern H.D. (1965-68) Breve til og fra Ole Worm, Bd. I-III. Munksgaard, Kbh.

- Schepelern H.D. (1971) *Museum Wormianum. Dets Forudsætninger og Tilblivelse. Wormianum, Kbh.*, 434 bls.
- Schincaglia I. (1900) Sulla fluorescenza nei cristalli birefrangenti e di un fenomeno osservato nello spato d'Islanda. *Nuovo Cimento* 11, 299 (smáviðbót við grein í 10).
- Schirmann M.A. (1919) Dispersion und Polychroismus des polarisirten Lichtes, das von Einzelteilchen von der Grössenordnung der Wellenlänge des Lichtes abgelenkt wird. *Ann. Phys.* 59, 493-537.
- Schirmann M.A. (1926) Nephelometrie. *Kafla í: Handbuch der Biologischen Arbeitsmethoden (ritstj. E. Abderhalden), Abt. II, Physikalische Methoden, Teil 2, Heft 4, 1345-1536. Urban & Schwarzenberg, Berlin.*
- Schlossmacher K. (1924) Die Wege zum Quantitativen in der Erzmikroskopie. *Fortschr. Mineral. Kristallogr. Petrogr.* 9, 161-184.
- Schmid E. (1842) Versuch einer inductorischen Entwicklung der Undulationstheorie. *Ann. Phys.* 56, 393-406, 541-557.
- Schmidt F. og H. Haensch (1893) Neuer Helmholtz'scher Farbenmischapparat. *Zeitschr. Instrumentenk.* 13, 200-204. Sjá einnig grein eftir R. Schelske í *Ann. Phys.* 16, 349-358, 1882 og 2. útgáfu *Handbuch der Physiologischen Optik* eftir H. v. Helmholtz 1896.
- Schmidt K.E.F. (1888) Ueber die durch feine Röhren im Kalkspath hervorgerufenen Lichtringe und die Theorie derselben. *Ann. Phys.* 33, 534-548.
- Schmidt K.E.F. (1889) Ueber die elliptische Polarisation des an Kalkspath reflectirten Lichtes. *Ann. Phys.* 37, 353-371.
- Schmidt W. (1902) Bestimmung der Dielektricitätsconstanten von Krystallen mir elektrischen Wellen. *Ann. Phys.* 9, 919-937. Framhald í 11, 114-126, 1903.
- Schmidt W.J. (1920) Das Polarisationsmikroskop in der Zoologie. *Naturwissensch.* 8, 783-788.
- Schmidt W.J. (1924) Die Bausteine des Tierkörpers in Polarisirtem Lichte. *Fr. Cohen, Bonn*, 528 bls.
- Schmidt W.J. (1925) CBMP von E. Leitz, Wetzlar, ein Polarisationsmikroskop für Biologen. *Zeitschr. Wissensch. Mikrosk.* 42, 313-321.
- Schneiderhöhn H. (1922) Anleitung zur Mikroskopischen Bestimmung und Untersuchung von Erzen und Aufbereitungsprodukten, Besonders im Auffallenden Licht. *Gesellsch. Deutsch. Metallhütten- und Bergleute, Berlin*, 292 bls.
- Schoenflies A.M. (1888) Ueber reguläre Gebietstheilungen des Raumes. *Nachr. Gesellsch. Wiss. Göttingen* 1888, 223-237, og framhaldsgrein um kristallabyggingu 483-501.
- Schrauf A. (1885-86) Ueber die Azimuthdifferenz doppeltgebrochener Strahlen. *Beobachtungen auf Calcit. Zeitschr. Krystallogr.* 11, 5-22.
- Schulz H. (1911) Polarisationsprismen aus Glas. *Zeitschr. Instrumentenk.* 31, 180-183. Schulz skrifaði einnig nokkrar kennilegar greinar um Nicol-prismu kringum 1920.
- Schulz H. (1912) Über die Doppelbrechung gekühlter Gläser und eine Methode zur Messung derselben. *Verh. Deutsch. Phys. Gesellsch.* 18, 883-897.
- Schulz H. (1925) Linsenspolarisatoren. *Zeitschr. Techn. Phys.* 6, 614-618. Vitnar m.a. í grein eftir sig í *Zeitschr. Phys.* 33, 183-184 og eftir W. Schütz í *Zeitschr. Phys.* 32, 502-504. Breskt einkaleyfi 231848 var veitt 1925. Fyrstu réttu útreikningar á brennividd eru líklega hjá W.R. Hamilton, *Phil. Mag.* 19, 289-294, 1841.
- Schulz H. og A. Gleichen (1919) Die Polarisationsapparate und ihre Verwendung. *F. Enke Verlag, Stuttgart*, 122 bls.
- Schulz W.F. (1913) The use of the photo-electric cell in stellar photometry. *Astrophys. J.* 38, 187-191.
- Schulze-Montanus A. (1817) Ein Instrument zu den Versuchen über die Polarisation des Lichts. *Ann. Phys.* 27, 427-436.
- Schumann H. og H. Piller (1950) Über die Verwendungsmöglichkeit moderner Polarisationsfilter in mineralogischen Mikroskopen. *N. Jahrb. Mineral. Monatsh.* 1950, 1-16.
- Schunck C.A. (1898) A photographic investigation of the absorption spectra of chlorophyll and its derivatives in the violet and ultra-violet region of the spectrum. *Proc. Royal Soc.* 63, 389-396.

- Schunck C.A. (1899, 1901) The yellow colouring matters accompanying chlorophyll and their spectroscopic relations. Proc. Royal Soc. 65, 177-186. Framhald í 68, 474-480.
- Schuster A. (1890) Experiments with Lord Rayleigh's colour box. Proc. Royal Soc. 48, 140-149. Um litsjónarprófunartæki sem Rayleigh lýsti í Nature 25, 64-66, 1882. Þetta tæki var einnig notað af R.A. Houstoun síðar, sjá Proc. Royal Soc. A102, 353-360, 1922.
- Schuster A. og J.W. Nicholson (1923) An Introduction to the Theory of Optics, 3. útg. E. Arnold & Co., London, 397 bls.
- Schuster M. (1881) Ueber die optische Orientierung der Plagioklase. Mineral. Petrogr. Mitth. 3, 117-284.
- Schönn J.L. (1880) Ueber ultraviolette Strahlen. Ann. Phys. 9, 483-492 og 10, 143-148.
- Schönrock O. (1928) Polarimetrie, 12. kafli í Handbuch der Physik 19. Band, bls. 705-776. J. Springer, Berlín.
- Sède P. de (1884) L'Islande. Mission de 1883. La Nature 13 (no. 602), 18-22.
- Seebeck A. (1831) Ueber die Polarisationswinkel am Kalkspath. Ann. Phys. 21, 290-310 og (með samanburði við kenningar Fresnels) 22, 126-136. Hann segir kalkspat vera besta efniviðinn til rannsókna af þessu tagi.
- Seebeck A. (1836) Bemerkungen über die Polarisation des Lichtes durch Spiegelung, besonders in doppelbrechenden Körpern, nebst einem Auszuge aus Hrn. MacCullaghs Abhandlung über denselben Gegenstand. Ann. Phys. 38, 276-282. Viðbót með leiðréttingum á fyrri jöfnum MacCullaghs er í 40, 462-463, 1837.
- Seebeck T.J. (1813) Einige neue Versuche und Beobachtungen über Spiegelung und Brechung des Lichtes. Schweigger's J. Chem. Physik 7, 259-298, 382-384.
- Seebeck T.J. (1814) Von den entoptischen Farbenfiguren und den Bedingungen ihrer Bildung in Gläsern. Schweigger's J. Chem. Physik 12, 1-16. Útdráttur: Sur le développement des forces polarisantes par la pression. Bull. Soc. Philom. 49-51, 1816.
- Seeber L.A. (1824) Versuch einer Erklärung des inneren Baues der festen Körper. Ann. Phys. 76, 229-248, 349-372.
- Sellmeier W. (1872) Ueber die durch Aetherschwingungen erregten Mitschwingungen der Körpertheilchen und deren Rückwirkung auf die erstern, besonders zur Erklärung der Dispersion und ihrer Anomalien. Ann. Phys. 145, 399-421, 520-549 og 147, 386-403, 525-539. Sjá einnig grein hans í 143, 272-281, 1871.
- Senarmont H. de (1840) Mémoire sur les modifications que la réflexion spéculaire à la surface des corps métalliques imprime à un rayon de la lumière polarisée. Ann. Chim. 73, 337-363. Þýðing í Ann. Phys. Ergänzungsbl. 1, 451-474, 1842.
- Senarmont H. de (1843) Note sur la théorie mathématique de la double réfraction. Liouville J. Mathém. 8, 361-378.
- Senarmont H. de (1845) Remarques sur la cristallisation du spath calcaire. Ann. Mines 8, 635-638, sjá einnig í 11, 573-574, 1847.
- Senarmont H. de (1847a) Mémoire sur la réflexion et la double réfraction de la lumière par les cristaux doués de l'opacité métallique. Ann. Chim. 20, 397-476.
- Senarmont H. de (1847b, 1848) Mémoire sur la conductibilité des substances cristallisées pour la chaleur. Ann. Chim. 21, 457-476 og Second mémoire... í 22, 179-211. Stytt í C.R. 25, 459-461, 707-710, 1847.
- Senarmont H. de (1849) Note sur la conductibilité superficielle des corps cristallisées pour l'électricité de tension. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 29, 750-752, þar með kalkspat. Meira í Ann. Chim. 28, 257-278, 1850.
- Senarmont H. de (1850) Note sur un nouveau polariscope. Ann. Chim. 28, 279-282.
- Senarmont H. de (1856) Réflexion totale de la lumière extérieurement à la surface des cristaux biréfringents. Liouville J. Mathém. 1, 305-320.
- Senarmont H. de (1857) Note sur la construction d'un prisme biréfringent propre à servir de polariseur. Ann. Chim. 50, 480-481.
- Serpek O. (1909) Verfahren zur Herstellung von Aluminiumnitrid. Patentschrift Nr. 48470, Eidgenössisches Amt für Geistiges Eigentum, 2 bls.

- Shaffer P.A. og A.F. Hartmann (1921) The iodometric determination of copper and its use in sugar analysis. *J. Biol. Chem.* 45, 349-364, 365-390.
- Shapiro A.E. (1973) Kinematic optics: a study of the wave theory of light in the 17th century. *Arch. Hist. Exact Sci.* 11, 134-266.
- Shapley H. (1915) A study of the orbits of eclipsing binaries. *Contrib. Princeton Univ. Observatory no. 3*, 176 bls.
- Shapley H. (1918) The luminosities and distances of 139 Cepheid variables. *Astrophys. J.* 48, 279-294.
- Shapley H. (1923) On the relative velocity of blue and yellow light. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 9, 386-390.
- Shepherd E.S. og G.A. Rankin (1909) The binary systems of alumina with silica, lime and magnesia (with optical study by F.E. Wright). *Am. J. Sci.* 28, 293-333. Þýðing í *Zeitschr. Anorg. Chemie* 68, 370-420, 1910.
- Short M.N. (1931) Microscopic Determination of the Ore Minerals. *Bull. U.S. Geol. Survey* 825. Government Printing Office, Washington D.C., 204 bls.
- Sidersky D. (1895) *Polarisation et Saccharimétrie*. Gauthier-Villars et Fils/ G. Masson, Paris, 152 bls. í litlu broti. 2. útgáfa kom 1909.
- Siedentopf H. (1902) Über ein Microspectralobjectiv nach Engelmann mit ausklappbaren geradsichtigen Gittern nach Thorp und ausklappbarem Polarisator. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1902(I), 711-719.
- Siedentopf H. og R.A. Zsigmondy (1903) Über Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser. *Ann. Phys.* 10, 1-39.
- Siegbahn M. (1919) Precision measurements in the X-ray spectra. *Phil. Mag.* 37, 601-612.
- Siegbahn M. (1924) *Spektroskopie der Röntgenstrahlen*. J. Springer, Berlin, 257 bls. Ath.: varðandi aðferðir til að mæla h, vitnar Siegbahn í yfirlitsgrein eftir R. Ladenburg frá 1920, en betra yfirlit er líklega hjá R.T. Birge í *Phys. Rev.* 14, 361-368, 1919.
- Siegbahn M. (1933) Interferometrische Untersuchung von Kristallspaltflächen. *Arkiv Matem. Astron. Fysik* 23A no. 12, 9 bls.
- Signer R., T. Caspersson og E. Hammarsten (1938) Molecular shape and size of thymonucleic acid. *Nature* 141, 122. Tilvitnað í Nóbél-erindi M. Wilkins 1962.
- Sigurður S. Jónsson (1988) Helgustaðanáma. *Steinn (Blað Félags áhugamanna um steinafræði)* 1, 6-7, 20.
- Silbermann J.-T. (1846) *Essai d'explication du phénomène des houppes ou aigrettes visibles à l'oeil nu dans la lumière polarisée*. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 23, 629-633.
- Silberschlag J.E. (1787) Von dem die Bilder verdoppelnden sogenannten Isländischen Crystall, oder Doppelspath. *Beobachtungen und Entdeckungen aus der Naturkunde von der Gesellschaft Naturforschender Freunde zu Berlin*, 2(2), 1-16.
- Silliman R.S. (1975) Fresnel and the emergence of Physics as a discipline. *Hist. Studies in Phys. Sci.* 4, 137-162.
- Skinner C.A. (1923) The polarimeter and its practical applications. *J. Franklin Inst.* 196, 721-750. Yfirlit.
- Skinner C.A. (1925) A universal polarimeter. *J. Opt. Soc. Am.* 10, 491-525.
- Skinner C.A. og L.B. Tuckerman (1911) Halbschatteninterferometer. *Phys. Zeitschr.* 12, 620-626.
- Sleeman P.R. (1884) Dr. Feussner's new polarizing prism. *nature* 29, 514-517.
- Smith A. (1839) Notes on the undulatory theory of light. *Cambr. Mathem. J.* 1, 3-9, 77-86. Sjá einnig greinar hans um svipað efni í *Trans. Cambr. Philos. Soc.* 6 (pt. 1), 85-89, 1836 og *Phil. Mag.* 12, 335-336, 1838.
- Smith C.F. (1933) Polarizing louvres and their application. *J. Sci. Instr.* 10, 212-214, og U.S. Patent 1,966,769.
- Smith F.H. (1955) Microscopic interferometry. *Research* 8, 385-395. Sjá einnig t.d. bresk einkaleyfi Smiths no. 639014 frá 1950, 710490 og 710495 frá 1954.
- Smith G. (1926) *A Contribution to the Mineralogy of New South Wales*. Mineral Resources Publication 34, 96 bls. Sjá einnig bls. 227 í bókinni *Forgotten Country* eftir Isabel Wilkinson, 1980.
- Smith L.E. (1926) The luminescence of pure barium bromide under the action of alpha-, beta-, and gamma-rays. *Phys. Rev.* 28, 431-437.

- Smoluchowski M. (1907) Théorie cinétique de l'opalescence des gaz à l'état critique et de certains phénomènes corrélatifs. Bull. Internat. Acad. Sci. Crac. 1907, 1057-1075.
- Smoluchowski M. (1916) Experimentelle Bestätigung der Rayleigh'schen Theorie des Himmelsblaus. Bull. Internat. Acad. Sci. Crac. 1916, 218-220.
- Smyth F.H. og L.H. Adams (1923) The system, calcium oxide-carbon dioxide. J. Am. Chem. Soc. 45, 1167-1184.
- Sohncke L. (1876) Zur Theorie des optischen Drehvermögens in Krystallen. Mathem. Ann. 9, 504-529.
- Sohncke L. (1879) Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur. Teubner, Leipzig, með Erweiterung í Zeitschr. Krystallogr. 14, 426-446, 1888.
- Sohncke L. (1886) Electromagnetische Drehung natürlichen Lichts. Ann. Phys. 27, 203-219. Frekari tilraunir voru gerðar af J. Mills í 13, 848-855, 1904.
- Sohncke L. (1897) Polarisirte Fluorescenz. Sitzungsber. Bayer. Akad. Wiss. München 26, 75-117.
- Sokolow W. (1898) Lagerstätte von Calcit am Baidarthor in der Krym. N. Jahrb. Mineral. 1901(2), 178-179 og Zeitschr. Krystallogr. 32, 304, 1900. Endursögn úr stuttri grein á rússnesku, þar sem m.a. er nefnt að fyrirtæki R. Fuess hafi búið til eitt Nicol-prisma úr krímsku silfurbergi.
- Soleil H. (1855) Note sur quelques phénomènes offert par la lumière polarisée circulairement. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 40, 1058-1060.
- Soleil H. (1867) Catalogue des appareils d'optique construits dans les ateliers de H. Soleil. París, 13 bls.
- Soleil J.B. (1845) Note sur un moyen de faciliter les expériences de polarisation rotatoire. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 20, 1805-1808. Meira í 21, 426-430.
- Soleil J.B. (1847) Note sur un perfectionnement apporté au pointage du saccharimetre. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 24, 973-975. Úttekt á sakkarimeter Soleils, gerð af Babinet o.fl., er í 26, 162-168, 1848. Sjá einnig Duboscq og Soleil 1850.
- Sommerfeldt E. (1904) Ein für mineralogische Untersuchungen bei hoher Temperatur geeignetes Mikroskop. Zeitschr. Wissensch. Mikrosk. 21, 181-185.
- Sorby H.C. (1858) On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks. Quart. J. Geol. Soc. 14, 453-500. Stutt yfirlit: Sur l'application du microscope à l'étude de la géologie physique, Bull. Soc. Géol. Fr. 17, 571-573, 1859-60.
- Soret J.-L. (1874) Sur le pouvoir réfléchissant des flammes. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 78, 1299-1301. Sjá einnig smágrein G.G. Stokes í Proc. Royal Soc. Edinb. 18, 1892.
- Soret J.-L. (1878) Recherches sur l'absorption des rayons ultra-violets par diverses substances. Arch. Sci. Phys. Nat. 61, 322-359. Útdráttur í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 86, 708-711, með framhaldi í 88, 1012-1015, 1879.
- Soret J.-L. (1883) Recherches sur l'absorption des rayons ultra-violets par diverses substances IV, V. Arch. Sci. Phys. Nat. 9, 513-554 og 10, 429-494. Útdráttur í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 97, 314-316, 572-575, 642-644, 1069-1070.
- Soret J.-L. og E. Sarasin (1875) Sur la polarisation rotatoire du quartz. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 81, 610-613. Framhald í 83, 818-821, 1876, 84, 1362-1365, 1877 og 95, 635-638, 1882.
- Soubeiran E. (1842) Des changements moléculaires que le sucre éprouve sous l'influence de l'eau et de la chaleur. J. Pharm. 1, 1-14 og 89-104.
- Soubeiran E. (1850) Des moyens de reconnaître le sirop de fécule dans les divers sirops de sucre du commerce. J. Pharm. 18, 328-337.
- South African Geological Survey (1936) The Mineral Resources of the Union of South Africa. Höfunda er ekki getið. (Kafli um Iceland spar á bls. 371-373 er óbreyttur í 1940-útgáfu. Sjá Coetzee 1976 um nýrri útgáfu). Department of Mines, Pretoria, 454 bls.
- Spassky M. (1838) Note über das Nicol'sche Prisma. Ann. Phys. 44, 168-176.
- Spencer C.D. og S. Jones (1931) Design and construction of polariscopes for use in glass factories. J. Am. Ceramic Soc. 14, 512-517. Sjá einnig grein F.W. Prestons í 13, 595-623, 1930.
- Spottiswoode W. (1874) On combinations of colour by means of polarized light. Proc. Royal Soc. 22, 354-358.

- Spring W. (1888, 1890) Sur la vitesse de réaction du spath d'Islande avec quelques acides. Bull. Soc. Chim. 49, 3-11. Sur la vitesse de dissolution du spath d'Islande dans l'acide chlorhydrique, 3, 177-184. Líka í Bull. Acad. Royale Sci. Belg. 13 og 14, 1887.
- Spring W. (1899) Sur l'origine de la couleur bleue du ciel. Arch. Sci. Phys. Nat. 7, 225-239. Sur l'unité d'origine du bleu de l'eau. 326-333.
- Spurge C. (1887) On the effect of polish on the reflexion of light from Iceland spar. Proc. Royal Soc. 92, 242-267.
- Stamm A.J. og T. Svedberg (1925) The use of scattered light in the determination of the distribution of size of particles in emulsions. J. Am. Chem. Soc. 47, 1582-1596.
- Stanley F. (1919) Polariscopes and international saccharimetric scale. J. Ind. Eng. Chem. 11, 598-599.
- Stark J. (1913) Beobachtungen über den Effekt des elektrischen Feldes auf Spektrallinien. Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin 1913, 932-946. Nánar í fjórum greinum í Ann. Phys. 43, 1914.
- Stark J. og W. Steubing (1908) Über die Intensitätsverteilung der Kanalstrahlen in Wasserstoff. Ann. Phys. 26, 918-926.
- Stark J. og H. Lunelund (1915) Polarisation der Lichtemission der Kanalstrahlen. Ann. Phys. 46, 68-84.
- Stas J.-S. (1892) Recherches chimiques et études spectroscopiques sur différents corps simples. Mém. Acad. Imp. Royale de Bruxelles 49(8), 246 bls.
- Stauffer L.H. (1930) Electro-optical modification of light waves. Phys. Rev. 36, 1352-1361.
- Steege W. (1857) Verzeichniss optischer Gegenstände. Ann. Phys. 101, 642-643.
- Stefan J. (1864a) Ein Versuch über die Natur des unpolarisirten Lichtes und die Doppelbrechung des Quarzes in der Richtung seiner optischen Axe. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 50(2), 380-393. Über Interferenz des weissen Lichtes bei grossen Gangunterschieden, 481-496.
- Stefan J. (1864b) Theorie der doppelten Brechung. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 50(2), 505-523.
- Stefan J. (1865) Ueber die Dispersion des Lichtes durch Drehung der Polarisationssebene im Quarz. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 50(2), 88-124, 135-142, 380-393, 394-396. Útdráttur í Ann. Phys. 122, 631-634, 1864.
- Stenger F. (1883) Ueber das Verhalten des Kalkspaths im homogenen magnetischen Felde. Ann. Phys. 20, 304-326. Endurbættar mælingar hans eru í Ueber die Gesetze des Krystallmagnetismus, 35, 331-353, 1888, eftir að W. König hafði fengið aðrar niðurstöður í 31, 273-302, 1887.
- Sterken C. og K.B. Staubermann, ritstj. (2000) Karl Friedrich Zöllner and the Historical Dimension of Astronomical Photometry. VUB Press, Brussels, 186 bls.
- Steubing W. (1908) Über die optischen Eigenschaften kolloidaler Goldlösungen. Ann. Phys. 26, 329-371.
- Stewart A.W. (1919) Stereochemistry, 2. útg. Longmans, Green & Co., London, 277 bls.
- Stewart B. (1860) On the nature of the light emitted by heated tourmaline. Proc. Royal Soc. 10, 503-505.
- Stewart O.M. (1897) On the absorption of the extraordinary ray in uniaxial crystals. Phys. Rev. 4, 433-456.
- Stokes G.G. (1846) On a formula for determining the optical constants of doubly refracting crystals. Cambr. and Dublin Mathem. Journal 1, 183-187.
- Stokes G.G. (1851a) [Frásögn af tveim erindum hans í Cambridge Philosophical Society] On the colours of thick plates, og On a new elliptic analyser. Phil. Mag. 2, 419-421.
- Stokes G.G. (1851b) On the conduction of heat in crystals. Cambridge and Dublin Mathem. J. 6, 215-238.
- Stokes G.G. (1852a) On the composition and resolution of streams of polarized light from different sources. Trans. Cambr. Philos. Soc. 9, 399-416. Útdráttur í Phil. Mag. 3, 316-317.
- Stokes G.G. (1852b) On the change of refrangibility of light. Proc. Royal Soc. 6 (1850-54), 195-201, 333-335. Útdráttur langra greina um flúrljómun í Phil. Trans. R.S. 142 og 143.
- Stokes G.G. (1859) On the bearing of the phenomena of diffraction on the direction of the vibrations in polarized light. Phil. Mag. 18, 426-427. Stokes hafði um 1850 samið merka grein um ljósbygju, On the dynamical theory of

diffraction, sem birtist í *Trans. Cambr. Philos. Soc.* 9, 1-62, 1856. Deilur urðu síðan um það hvort skautun beygða ljóssins gæti gert upp á milli kenninga Fresnels og Neumanns. Sjá t.d. grein J. Fröhlichs í *Ann. Phys.* 1, 1877.

Stokes G.G. (1862) Report on double refraction. *British Assoc. Report* 32, 253-282.

Stokes G.G. (1872) On the law of extraordinary refraction in Iceland spar. *Proc. Royal Soc.* 20, 443-445, og *Phil. Mag.* 44, 316. Sjá líka: Sur l'emploi du prisme dans la vérification de la loi de la double réfraction. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 77, 1150-1152, 1873.

Stoll W.C. og F.C. Armstrong (1958) Optical calcite deposits in Park and Sweet Grass Counties, Montana. *Bull. U.S. Geol. Survey* 1042-M, 431-477.

Strasser B. (1907) Der Fizeausche Versuch über die Änderung des Polarisationsazimuths eines gebrochenen Strahles durch die Bewegung der Erde. *Ann. Phys.* 24, 137-144.

Stromeyer F. (1813) Entdeckung der wahren Natur des Arragonits und seiner chemischen Verschiedenheit von dem Kalkspathe. *Ann. Phys.* 43, 229-235. Ueber den Arragonit, und worin er von dem rhomboidalen Kalkspath chemisch verschieden ist. *Ann. Phys.* 45, 217-225 (upphaflega birt í *Gött. Gel. Anz.*)

Stromeyer F. (1814) De la différence chimique entre l'arragonite et le spath calcaire rhomboidal. *Ann. Chim.* 92, 254-299, útdráttur í *Bull. Soc. Philom.* 1815, 25-26. Sjá einnig grein um aragonit o.fl. eftir L.N. Vauquelin í *Ann. Chim.* 92, 311-318, 1814 og aðra um strontium í aragoniti eftir A. Laugier í *J. Mines* 36, 313-316, 1814.

H. Struers Chemiske Laboratorium (1925) Hovedprisliste over Instrumenter og Apparater. *Kaupmannahöfn*, 448 bls.

Strutt J.W. (1871a) On the light from the sky, its polarization and colour. *Phil. Mag.* 41, 107-120, 274-279.

Strutt J.W. (1871b) On the scattering of light by small particles. *Phil. Mag.* 41, 447-454.

Strutt J.W. (1871c) On double refraction. *Phil. Mag.* 41, 519-528. Sjá Rayleigh héreftir.

Stuart H.A. (1931) Kerr-Effekt, Lichtzerstreuung und Molekülbau. *Ergebn. Exakten Naturwissensch.* 10, 159-206. Útdráttur í *Zentralbl. Mathematik*.

Stubbs C.M. og E.B.R. Prideaux (1912) A spectro-photometric comparison of the emissivity of solid and liquid gold at high temperatures with that of a full radiator. *Proc. Royal Soc.* A87, 451-465.

Stuchtey K. og A. Wegener (1911) Die Albedo der Wolken und der Erde. *Nachr. Gesellsch. Wiss. Göttingen* 1911, 209-235.

Stöber F. (1898) Ueber ein einfaches Theodolitgoniometer und seine Verwendung zu stauroskopischen Bestimmungen. *Zeitschr. Kristallogr.* 29, 25-32. Einnig í *Leiss* 1899b.

Stöber F. (1924) Über einen neuen Polarisator. *Zeitschr. Krystallogr.* 61, 315-317. Sjá einnig grein hans um ræktun stórra nítatkristalla, 299-314. Meira um það er í *Chem. Erde* 6, 453-467, 1931.

Sun S.F. (2004) *Physical Chemistry of Macromolecules*, 2. útg. Wiley, New York.

Sutherland J. (1841) On the polarisation of the chemical rays of light. *Phil. Mag.* 19, 52-58. Útdráttur í *Ann. Phys.* 54, 434-436.

Sveinn Þórðarson (1945) Saga silfurbergsins. *Náttúrufræðingurinn* 15, 96-107.

Svirbely J.L. og A. Szent-György (1933) The chemical nature of Vitamin C. *Biochem. J.* 27, 279-285.

Swan W. (1849) Experiments on the ordinary refraction of Iceland spar. *Trans. Royal Soc. Edinb.* 16, 375-378.

Sylvester J.J. (1837) Analytical development of Fresnel's optical theory of crystals. *Phil. Mag.* 11, 461-469, 537-541. Framhald í 12, 73-83, 341-345, 1838.

Szivessy G. (1921) Neukonstruktion des Braceschen Halbschattenkompensators. *Zeitschr. Phys.* 6, 311-318. Kennileg útleiðsla á eiginleikum þessa búnaðar er í grein C. Bergholms í *Ann. Phys.* 44, 1053-1066, 1914.

Tait P.G. og W. Swan (1873-74) Notes on Mr. Sang's communication of 7th April 1873 on a singular property possessed by the fluid enclosed in crystal cavities in Iceland Spar. *Proc. Royal Soc. Edinb.* 8, 247-254.

Talbot H. Fox (1834) Facts relating to optical science, no. II: On Mr. Nicol's polarizing eye-piece. *Phil. Mag.* 4, 289-290. Experiments on light. 5, 321-334. Í tveim hlutum, sá fyrri lýsir skautunar-smásjá með Nicol-prismum, sá síðari mælingum á ljósstyrk með silfurbergs-strendingum. Meira er í 9, 288-291, 1836. Þróun smásjáa með Nicol-prismum virðist hafa haldið áfram í Bretlandi næstu árin, sbr. t.d. smáklausu D. Brewsters: On an improvement

- in the polarizing microscope, British Assoc. Report 10, 10, 1840, og A. Bryson: Description of new optical instruments, Edinb. New Philos. J. 48, 19-20, 1850.
- Talbot H. Fox (1872) On some optical experiments. Proc. Royal Soc. Edinb. 7, 466-470.
- Tanret C. (1895) Sur les modifications moléculaires du glucose. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 120, 1060-1062, með umfjöllun M. Berthelots 1019-1023.
- Tanret C. (1908) Sur l'ergostérine et la fongistérine. Ann. Chim. 15, 313-330.
- Tardy L.H. (1928) Le remplacement de l'oeil par la cellule photoélectrique sur les spectrophotomètres visuels. Revue d'Optique 7, 189-195.
- Tardy H.-L. (1929) Méthode pratique d'examen et de mesure de la biréfringence des verres d'optique. Revue d'Optique 8, 59-69.
- Tauern O.D. (1910) Über das Auftreten des Kerrphänomens in Gläsern und über eine Bestimmung der Kerrkonstanten für Schwefelkohlenstoff. Ann. Phys. 32, 1064-1084.
- Thenard L.J. og J.B. Biot (1807) Mémoire sur l'analyse comparée de l'arragonite et du carbonate de chaux rhomboidal. Bull. Soc. Philom. 1, 32-35, útdráttur úr Mém. Soc. Arcueil 2, 176-206, 1809. Þýsk þýðing í Ann. Phys. 31, 297-304, 1809.
- Thierfelder H. (1890) Ueber die Identität des Gehirnzuckers mit Galactose. Zeitschr. Physiol. Chemie 14, 209-216.
- Thompson S.P. (1886) Notes on some new polarizing prisms. Phil. Mag. 21, 476-481, meira um prismu er í 12, 349-351, 1881 og um tvíburaprismu í 24, 397-401, 1887.
- Thompson S.P. (1905) On the Nicol prism and its modern varieties. Proc. Optical Convention 1905, 216-235. Williams and Norgate, London.
- Thomson J.J. (1880) On Maxwell's theory of light. Phil. Mag. 9, 284-291. Hann leiðir m.a. út formúlur Fresnels um það hvernig ljósmagn skiptist milli endurkastaða og brotna geislans á skilfleti, en H.A. Lorentz hafði þá nýlega birt ítarlegri útleiðslu.
- Thomson W., síðar Kelvin lávarður (1847) On a mechanical representation of electric, magnetic and galvanic forces. Camb. Dublin Mathem. J. 2, 61-65.
- Thomson W. (1851) On the theory of magnetic induction in crystalline and non-crystalline substances. Phil. Mag. 1, 177-186.
- Thomson W. (1856) Dynamical illustrations of the magnetic and the helicoidal rotatory effects of transparent bodies on polarized light. Proc. Royal Soc. 8, 150-158.
- Thomson W. (1887-88) On Cauchy's and Green's doctrine of extraneous force to explain dynamically Fresnel's kinematics of double refraction. Proc. Royal Soc. Edinb. 15, 21-33.
- Thomson W. (1888) On the reflexion and refraction of light. Phil. Mag. 26, 414-425, 500-501.
- Thomson W. (1888-89) On molecular tactics of crystals and of the artificial twinning of Iceland Spar. Proc. Royal Soc. Edinb. 16, 707-720. Þýðing á hluta er í C.R. 109, 333-337.
- Thomson W. (1890) On a mechanism for the constitution of the ether. Proc. Royal Soc. Edinb. 17, 127-133. Einnig m.a. í C.R. 109, 453-455, 1889.
- Tiemann F. (1895) Ueber Campher. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 28, 1079-1093.
- Tiemann F. og W. Haarmann (1874) Ueber das Coniferin und seine Umwandlung in das aromatische Princip der Vanille. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 7, 608-623. Sjá einnig grein F.T.: Ueber Glucovanillin und Glucovanillylalkohol í 18, 1595-1600, 1885.
- Timoshenko S. (1953) History of Strength of Materials. McGraw-Hill, New York, 452 bls. Endurútgefin af Dover Publications, New York 1983.
- Tissandier G. (1877) Microscope polarisant de M. Nodot. La Nature 5(II), 117-118.
- Toennies G. og T.F. Lavine (1930) On the optical rotation of l-cystine. J. Biol. Chem. 89, 153-166.
- Tollens B. (1886) Untersuchung von Melitose oder Raffinose aus Melasse, Baumwollsamensamen und Eucalyptus-Manna, I-III. Liebigs Ann. Chem. 232, 169-204.

- Tomaschek R. (1934) Grimsehl's Lehrbuch der Physik, 6. útg., II. bindi (2): Materie und Äther. Teubner, Leipzig, 426 bls.
- Tonn E. (1894) Über die Gültigkeit von Newtons Farbenmischungsgesetz. Zeitschr. Psychol. Physiol. Sinnesorg. 7, 279-304.
- Tony-Garcin -. (1887) Recherche, dans les vins, des sucres de canne, glucoses et dextrans frauduleusement ajoutés. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 104, 1002-1003.
- Tool A.Q. (1910) A method for measuring ellipticity, and the determination of optical constants of metals. Phys. Rev. 31, 1-25.
- Torelli de Narci P. (1803) Lettre...sur la double réfraction du cristal de roche, appliquée à la construction des milieux doublement réfringens, instruments inventés par Alexis Rochon, pour mesurer les petits angles. J. Mines 14, 251-260. Einnig er smágrein um tvöfalt ljósbrot í kvasi í 11, 521-524, 1801-02.
- Trannin H. (1876) Mesures photométriques dans les différentes regions du spectre. J. Phys. 5, 297-304. Með stuttri lýsingu á skautunar-ljósmeili.
- Tronstad L. (1933) The investigation of thin surface films of metals by means of reflected polarized light. Trans. Faraday Soc. 29, 502-514.
- Tschermak G. (1869) Bemerkungen über die chemische Constitution der plagioclastischen Feldspäthe. Ann. Phys. 138, 162-171, framhald úr 125, 139-143, 1865. Eiginleikar þessara steinda voru rannsakaðir nánar m.a. af A. Michel-Lévy og F. Becke.
- Tschermak G. (1870) Mikroskopische Unterscheidung der Mineralien aus der Augit-, Amphibol- und Biotitgruppe. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 60(1), 5-16.
- Tschermak G. (1881) Ueber die Isomorphie der rhomboëdrischen Carbonate und des Natriumsalpers. Mineral. Petrogr. Mitth. 4, 99-121.
- Tschermak G. (1894) Lehrbuch der Mineralogie, 4. útg. A. Hölder, Wien, 607 bls.
- Tschermak-Becke (1915) Lehrbuch der Mineralogie, 7. útg. A. Hölder, Wien/Leipzig, 738 bls.
- Tschirwinsky P.N. (1910) Eine neue Doppelspatlagerstätte auf dem Kara-Dag in der Krim. Zeitschr. Krystallogr. 47, 289 (endursögn úr rússneskri árbók fyrir 1907).
- Tu Y. (1932) A precision comparison of calculated and observed grating constants of crystals. Phys. Rev. 40, 662-675.
- Tutton A.E.H. (1908) The crystallization of water. The Times 23. des., bls. 4.
- Tutton A.E.H. (1922) Crystallography and Practical Crystal Measurement, 2. útg. í tveim bindum. Macmillan and Co., London, 1446 bls. Endurprentuð í Nýju Delhi 1964.
- Twyman F. (1906) Improvements in the Hüfner type of spectrophotometer. Proc. Phys. Soc. 20, 467-475.
- Tyndall E.P.T. (1923) Optical properties of some metallic sulfides. Phys. Rev. 21, 162-180.
- Tyndall J. (1851) Ueber Diamagnetismus und magnekristallinische Wirkung. Ann. Phys. 83, 384-416.
- Tyndall J. (1853) On some of the eruptive phenomena in Iceland. Proc. Royal Institution 1, 329-335, 1851-54. Í ritgerðaskrá Haraldar Sigurðssonar bókavarðar (útg. Lbs. 1991) er nefnd önnur 3-bl. grein um Geyser phenomena, úr óvissu riti.
- Tyndall J. (1855, 1856) On the nature of the force by which bodies are repelled from the poles of a magnet...Phil. Trans. Royal Soc. 145, 1-51. Further researches on the polarity of the diamagnetic force. 146, 237-256.
- Tyndall J. (1869a,b) On chemical rays, and the light of the sky. Proc. Royal Inst. 5, 429-450. On the blue colour of the sky, the polarization of skylight, and the polarization of light by cloudy matter generally. Phil. Mag. 37, 384-394 og Proc. Royal Soc. 17, 223-233.
- Tyndall J. (1870) On the action of rays of high refrangibility upon gaseous matter. Phil. Trans. Royal Soc. 160, 333-365. Sjá einnig grein hans um athuganir á vökvum o.fl. í Nature 2, 489-490.
- Tyndall J. (1894) Faraday as a Discoverer, 5. útg., Longmans, Green & Co., London, 199 bls. Fyrst útg. 1868.
- Tyndall J. og H. Knoblauch (1850) On the deportment of crystalline bodies between the poles of a magnet. Phil. Mag. 36, 178-183. Second memoir on the magneto-optic properties of crystals, and the relation of magnetism and

- diamagnetism to molecular arrangement. 37, 1-33. Svipað eftir H.K. og J.T. er í *Ann. Phys.* 79, 233-241 og 81, 481-499. Framhald eftir J. T.: Further researches on the polarity of the diamagnetic force, *Phil. Trans. Royal Soc.* 146, 237-259, 1856.
- Umow N. (1912) Eine spektropolaroskopische Methode zur Erforschung der Lichtabsorption und der Natur der Farbstoffe. *Phys. Zeitschr.* 13, 962-971.
- Urech F. (1880) Strobometrische Beobachtung der Intervertirungsgeschwindigkeit von Rohrzucker durch concentrierte Salzsäure bei gewöhnlicher Temperatur. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellschaft.* 13, 1696-1697. Margar greinar að auki í sama riti árin 1882-88.
- Urey H.C. (1934) Significance of the hydrogen isotopes. *Ind. Eng. Chem.* 26, 803-806.
- Ussing N.V. (1902) Mineralproduktionen i Danmark ved Aaret 1900. *Danmarks Geol. Undersøgelse*, II. Række nr. 12. Um silfurbergsnám bls. 102-104.
- Vaillant P. (1903) Étude spectrophotométrique de quelques électrolytes en solution. *Ann. Chim.* 28, 213-282.
- Valasek J. (1922) Properties of Rochelle salt related to the piezo-electric effect. *Phys. Rev.* 20, 639-664.
- Valentin G. (1861) Die Untersuchung der Pflanzen- und Thiergewebe in Polarisirtem Lichte. Engelmann, Leipzig, 312 bls.
- Vallery-Radot R. (1900) *La Vie de Pasteur*. Ensk þýðing R.L. Devonshire útg. 1906, Constable & Co., London, 484 bls.
- Van Nostrand's Scientific Encyclopedia (1989), 7. útg. í tveim bindum, 3180 bls. Ýmsar greinar.
- Vater H. (1886) Der Apparat von Warburg und Koch zur Bestimmung der Elasticitätscoefficienten, sowie Anwendung desselben auf zur Axe senkrechte Platten von Kalkspath und Apatit. *Zeitschr. Krystallogr.* 11, 549-586.
- Vater H. (1893,1899) Ueber den Einfluss der Lösungsgenossen auf die Krystallisation des Calciumkarbonats. *Zeitschr. Krystallogr.* 21, 433-490 og 30, 485-508.
- Ventzke K. (1842,1843) Ueber die verschiedenen Zuckerarten und verwandte Verbindungen, in Beziehung auf ihr optisches Verhalten und dessen praktische Anwendung. *J. Prakt. Chemie* 25, 65-84 og 28, 101-116.
- Verdet É. (1854) Recherches sur les propriétés optiques développées dans tous les corps par l'action du magnétisme. *Ann. Chim.* 41, 370-412 og 43, 37-44.
- Verdet É. (1856 og síðar) Note sur les propriétés optiques des corps transparents soumis à l'action du magnétisme. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 43, 529-532. Meira í 44, 1209-1213, 1857. Einnig *Ann. Chim.* 52, 129-163, 1858 og 69, 415-491, 1863, útdráttur af síðastnefndu greininni er í *C.R.* 56, 630-632, 1863 og 57, 670-674, 1863.
- Verdet É. (1865) Étude sur la constitution de la lumière non polarisée et de la lumière partiellement polarisée. *Ann. Sci. Éc. Norm. Sup.* 2, 291-316.
- Verdet É. (1869) *Leçons d'Optique Physique I*. Masson et Fils, Paris, 584 bls. Sjá Mynd 17-1.
- Verdet-Exner (1887) Vorlesungen über die Wellentheorie des Lichtes II. Þetta er þýðing K. Exners á *Leçons d'Optique Physique II* (útg. 1870) með talsverðum viðbótum þýðandans. F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 528 bls.
- Vernois M. og A. Becquerel (1853) Recherches sur le lait. Deuxième partie. *Ann. Hyg. Publ. Méd. Légale* 50, 43-147.
- Vickers A.E.J. (1956) The polarizing microscope in organic chemistry and biology. *Research* 9, 67-78.
- Viola C. (1897) Ueber ein Universalinstrument für Kristallographie. *Zeitschr. Kristallogr.* 28, 165-168.
- Violle J. (1881) Intensités lumineuses des radiations émises par le platine incandescent. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 92, 866-868, og framhald 1204-1206.
- Violle J. (1884) Sur l'étalon absolu de la lumière. *Ann. Chim.* 3, 373-407.
- Violle J. (1887) Polarisation par émission. *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 105, 111-114.
- Vogel F. (1885) Aenderung der Lichtbrechung in Glas und Kalkspat mit der Temperatur. *Ann. Phys.* 25, 87-94.

- Vogel H.C. (1877) Spectral-photometrische Untersuchungen insbesondere zur Bestimmung der Absorption der die Sonne umgebenden Gashülle. Monatsber. Akad. Wiss. Berlin 1877, 104-142.
- Vogel H.C. (1880) Resultate spectralphotometrischer Untersuchungen. Monatsber. Akad. Wiss. Berlin 1880, 801-811.
- Vogel H.W. (1879) Über die Spectra des Wasserstoffs, Quecksilbers und Stickstoffs. Monatsber. Akad. Wiss. Berlin 1879, 586-604.
- Vogel H.W. (1880) Über die neuen Wasserstofflinien, die Spectra der weissen Fixsterne und die Dissociation des Calciums. Monatsber. Akad. Wiss. Berlin 1880, 192-198, sjá einnig í Astron. Nachr. 96, 327-330.
- Vogelsang H. (1867) Philosophie der Geologie und Mikroskopische Gesteinsstudien. Max Cohen & Sohn, Bonn, 229 bls.
- Voigt W. (1887) Theoretische Studien über die Elasticitätsverhältnisse der Krystalle. Abh. Akad. Wiss. Göttingen 34, 100 bls. W.V. birti margar ritgerðir um þessi málefni á árunum 1886-94, sjá m.a. tilvitnanir í Timoshenko 1953.
- Voigt W. (1889) Bestimmung der Elasticitäts-Constanten für Kalkspath. Nachr. Gesellsch. Wiss. Göttingen 1889, 483-511 og viðauki um Gleitflächen 512-519.
- Voigt W. (1891) Zur Theorie des Lichtes. Ann. Phys. 43, 410-437.
- Voigt W. (1899) Bemerkung über die Grösse der Spannungen und Deformationen, bei denen Gleitschichten in Kalkspath entstehen. Ann. Phys. 67, 201-208. Sjá einnig fyrri grein í 39, 432-439, 1890.
- Voigt W. (1899-1900) Neuere Untersuchungen über die optischen Wirkungen eines Magnetfeldes. Phys. Zeitschr. 1, 116-120, 128-131, 138-143. Yfirlit.
- Voigt W. (1901) Eine Methode zur Untersuchung des Polarisationszustandes von ultraviolettem Lichte. Phys. Zeitschr. 2, 303-306.
- Voigt W. (1910) Lehrbuch der Kristallphysik (mit Ausschluss der Kristalloptik). Teubner, Leipzig. Endurprentuð með viðbót 1928, þá alls 978 bls. Ljósprentuð 1966.
- Voigt W. og S. Kinoshita (1907) Bestimmung absoluter Werte von Magnetisierungs-zahlen, insbesondere für Kristalle. Nachr. Gesellsch. Wiss. Göttingen 1907, 123-144.
- Voit E. (1867) Ueber die Diffusion von Flüssigkeiten. Ann. Phys. 130, 227-240, 393-423.
- Volger O. (1856) Der Asterismus. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 19, 103-116. Kynning W. Haidingers á þessari grein er á bls. 98-102.
- Vorländer D. (1908) Über durchsichtig klare, krystallinische Flüssigkeiten. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 41, 2033-2052.
- Voss V. (1918) The ratio of the intensities of the D lines of sodium. Phys. Rev. 11, 21-28.
- Wadlund A.P.R. (1928) Absolute X-ray wave-length measurements. Phys. Rev. 32, 841-849.
- Waesche H.H. (1960) Quartz crystals and optical calcite. Kafli í: Industrial Minerals and Rocks, 3. útg. (ritstj. J.L. Gillson), 687-698. A.I.M.E, New York.
- Waetzmann E., ritstj. (1934) Technische Akustik. Wien-Harms Handbuch der Experimentalphysik, Band 17, 3. Teil.
- Wagner E. og H. Kulenkampff (1922) Die Intensität der Reflexion von Röntgenstrahlen verschiedener Wellenlänge an Kalkspat und Steinsalz. Ann. Phys. 68, 369-413.
- Wahl W. (1913) Physico-chemical determinations at high pressures by optical methods. Phil. Trans. Royal Soc. A212, 117-148.
- Wahlstrom E.E. (1969) Optical Crystallography, 4. útg. Wiley, New York, 489 bls.
- Waidner C.W. og G.K. Burgess (1904) The temperature of the arc. Phys. Rev. 19, 241-257.
- Walden P. (1896) Ueber die gegenseitige Umwandlung optischer Antipoden. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 29, 133-138. Framhald í 30, 2795-2798 (með O. Lutz) og 3146-3151, 1897, einnig 32, 1833-1855 og 1855-1864, 1899.

- Walden P. (1900) Fünfundzwanzig Jahre stereochemischer Forschung (Rückblicke und Ausblicke). Naturwiss. Rundschau 15, 145-148, 157-160, 169-173, 185-188, 197-199.
- Walden P. (1919) Optische Umkehrerscheinungen (Waldensche Umkehrung). F. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 214 bls. Sögulegt yfirlit.
- Walden P. (1925a,b) Vergangenheit und Gegenwart der Stereochemie. Naturwissensch. 13, 301-312, 331-336, 352-360, 376-384. Fünfzig Jahre stereochemischer Lehre und Forschung. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 58, 237-265.
- Walker G.P.L. (1959) Geology of the Reyðarfjörður area, Eastern Iceland. Quart. J. Geol. Soc. London 114, 367-393.
- Walker G.P.L. (1974) The structure of Eastern Iceland. Í: Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area (ritstj. Leó Kristjánsson), 177-188. Reidel, Dordrecht.
- Wallach O. (1888) Zur Kenntniss der Terpene und ätherischen Oele. Liebigs Ann. Chem. 246, 221-239. Um 40 greinar hans með þessum titli birtust 1885-1900.
- Wallach O. (1891) Ueber Terpene und Campher. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 24, 1525-1579, yfirlitserindi.
- Wallach O. og E. Conrady (1889) Ueber das Rotationsvermögen einiger Terpenderivate. Liebigs Ann. Chem. 252, 141-157.
- Wallerant F. (1909) Cristallographie. Librairie Polytechnique, Paris, 523 bls.
- Walsh J.W.T. (1958) Photometry, 3. útg. Constable & Co., London, 544 bls.
- Wanner H. (1900) Photometrische Messungen der Strahlung schwarzer Körper. Ann. Phys. 2, 141-157.
- Wanner H. (1902) Über einen Apparat zur photometrischen Messung hoher Temperaturen. Phys. Zeitschr. 3, 112-114. Sjá einnig lýsingu á tækinu í bandarísku einkaleyfi no. 793970 sem höfundinum var veitt 1905.
- Ward R. (1980) The Development of the Polarimeter in Relation to Problems in Pure and Applied Chemistry. An Aspect of Nineteenth Century Scientific Instrumentation. D. Phil. ritgerð, University of London, 336 bls.
- Wartenberg H.v. (1910) Optische Konstanten einiger Elemente. Verh. Deutsch. Phys. Gesellsch. 12, 105-120.
- Wartmann É. (1851) Sur la polarisation de la chaleur atmosphérique. Arch. Sci. Phys. Nat. 18, 89-95. Með lýsingu á tæki sem J. Duboscq er enn að auglýsa til sölu 1885.
- Waugh W.A. og C.G. King (1932) Isolation and identification of Vitamin C. J. Biol. Chem. 97, 325-331.
- Wawilow S.J. (1925) Über polarisiertes Fluoreszenzlicht von Farbstofflösungen. V. Zeitschr. Phys. 32, 721-729.
- Weber G. (1952) Polarization of the fluorescence of macromolecules 1.-2. Biochem. J. 51, 145-155, 155-157.
- Weber L. (1891) Eine neue Montirung des Milchglasplattenphotometers. Zeitschr. Instrumentenk. 11, 6-13.
- Webster D.L. (1916) Experiments on the emission quanta of characteristic X-rays. Phys. Rev. 7, 599-613.
- Weigert F. (1927) Optische Methoden der Chemie. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig, 632+XVI bls.
- Weigert F. og G. Käßler (1924) Polarisierte Fluoreszenz in Farbstofflösungen. Zeitschr. Phys. 25, 99-117.
- Weiler J. (1929) Die magneto-optische Bestimmung der Intensitäten der beiden ersten Glieder der Kaliumhauptserie und der Dampfdrucke des Kaliums. Ann. Phys. 1, 361-399.
- Weinberg A.A. (1921) Zur Methodik der Nephelometrie. Ein Nephelometer mit konstantem Standard. Biochem. Zeitschr. 125, 292-310.
- Weinschenk E. (1901) Anleitung zum Gebrauch des Polarisationsmikroskops. Herder, Freiburg, 123 bls. 2. útgáfa kom 1906 og 3. útgáfa 1910.
- Weinschenk E. (1925) Das Polarisationsmikroskop. 5./6. útg., aukin af J. Stiny. Herder, Freiburg, 159 bls.
- Weiss C.S. (1804) Dynamische Ansicht der Krystallisation. Viðauki við þýðingu hans og K.J.B. Karstens á *Traité de Minéralogie* eftir R.J. Haüy. Útg. í Leipzig.
- Weiss C.S. (1811) Mémoire sur la détermination du caractère géométrique principal des formes cristallines. J. Mines 29, 349-391, 401-445 (þýðing dr.-ritgerðar frá 1809).

- Weiss C.S. (1815) Uebersichtliche Darstellung der verschiedenen natürlichen Abtheilungen der Krystallisationssysteme. Abh. Akad. Wiss. Berlin 1814-15 (Phys.), 289-336. Framhald í 1816-17, 286-336.
- Weiss C.S. (1836) Über rechts und links gewundene Bergkrystalle. Abh. Akad. Wiss. Berlin 1836, 187-205.
- Weiss P. og A. Cotton (1907) Mesures du phénomène de Zeeman sur les raies bleues de zinc. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 144, 130-131. Framhald í 147, 968-969, 1908.
- Weld L.D. (1922) The crystalliptometer. J. Opt. Soc. Am. 6, 67-91.
- Welker W.H. og C.S. Williamson (1920) Hemoglobin. I. Optical constants. J. Biol. Chem. 41, 75-79.
- Wendell O.C. (1909) Photometric Observations made with the Fifteen Inch East Equatorial during the Years 1892 to 1902. Ann. Harvard Coll. Astron. Observ. 69(I), 97 bls. Lýsing á ljósmælum er á bls. 1-5.
- Wernadsky V. (1899) Ueber die Erscheinung der Gleitung in kristallinen Substanz. Zeitschr. Krystallogr. 31, 519-522, endursögn ritgerðar á rússnesku.
- Werner A. (1893) Beitrag zur Konstitution anorganischer Verbindungen. Zeitschr. Anorg. Chemie 3, 267-330. Ensk þýðing í Kauffman 1968.
- Werner A. (1904) Lehrbuch der Stereochemie. Gustav Fischer, Jena, 474 bls. Sjá Mynd 27-5.
- Werner A. (1906) Les phénomènes d'isomérisation en chimie inorganique. Rev. Gén. Sci. 17, 538-546.
- Werner A. (1911, 1914) Zur Kenntnis des asymmetrischen Kobaltatoms I. Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. 44, 1887-1898. XII. Über optische Aktivität bei kohlenstofffreien Verbindungen. 47, 3087-3094. Útdr. í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 159, 426-429.
- Wernicke W. (1885) Über die Phasenänderungen bei der Reflexion und über die Schwingungsebene des polarisirten Lichtes. Ann. Phys. 25, 203-232.
- Wertheim G. (1851) Mémoire sur la polarisation chromatique produite par le verre comprimé. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 32, 289-292 (og stutt kynning á bls. 144-145). Note sur la double réfraction artificiellement produite dans les cristaux du système régulier. 33, 576-579. Viðbót í 35, 276-278, 1852.
- Wertheim G. (1854) Sur la double réfraction temporairement produite dans les corps isotropes, et sur la relation entre l'élasticité mécanique et entre l'élasticité optique. Ann. Chim. 40, 156-221. Sjá einnig Bravais 1855.
- West C.D. (1945) A method of growing oriented sections of certain optical crystals. J. Opt. Soc. Am. 35, 26-31.
- West C.D. og R.C. Jones (1951) On the properties of polarization elements as used in optical instruments, I. J. Opt. Soc. Am. 41, 976-982.
- Westfeld C.F. (1767) Mineralogische Abhandlungen, Stück I (tilvitnað m.a. af Lima-de-Faria 1990). Göttingen.
- Wheatstone C. (1848) On a means of determining the apparent solar time by the diurnal changes of the plane of polarization at the north pole of the sky. British Assoc. Report 18, pt. ii, 10-12. Sjá líka J.B. Soleil í Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 28, 511-513, 1849.
- Wheatstone C. (1871) Experiments on the successive polarization of light, with the description of a new polarizing apparatus. Proc. Royal Soc. 19, 381-389.
- White C.P. (1909) On the occurrence of crystals in tumours. J. Pathol. Bacteriol. 13, 3-10.
- White M.C. (1858) Application of polarized light to the microscope. Am. J. Sci. 76, 391-392.
- Whittaker E.T. (1951) A History of the Theories of Aether and Electricity, endurskoðuð útgáfa, I. Thomas Nelson, London, 434 bls.
- Wiedemann G. (1849) Ueber das elektrische Verhalten krystallinischer Körper. Ann. Phys. 76, 404-412 og 77, 534-536. Stytt í C.R. 30, 110-112, 1850. Þar með silfurberg.
- Wiedemann G. (1851) Ueber die Drehung der Polarisationsebene des Lichtes durch den galvanischen Strom. Ann. Phys. 82, 215-232.
- Wien W. (1898) Ueber die Fragen, welche die translatorische Bewegung des Lichtäthers betreffen. Verh. Deutsch. Naturf. Ärzte 1898, Th. 2, Hälfte 1, 49-56.
- Wien-Harms (1928) Handbuch der Experimentalphysik, Band 18: Wellenoptik und Polarisation. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 674 bls.

- Wiener O. (1890) Stehende Lichtwellen und die Schwingungsrichtung polarisirten Lichtes. *Ann. Phys.* 40, 203-243, 744. Þýðing í *Ann. Chim.* 23, 1891.
- Wiener O. (1904) Lamellare Doppelbrechung. *Phys. Zeitschr.* 5, 332-338. Á næstu árum birtust fleiri greinar hans um þessi mál í *Berichte og Abhandlungen visindafélagsins í Leipzig*.
- Wigand A. (1913) Das ultraviolette Ende des Sonnenspektrums in verschiedenen Höhen bis 9000 m. *Phys. Zeitschr.* 14, 1144-1148.
- Wild H. (1856) Ueber ein neues Photometer und Polarimeter nebst einigen damit angestellten Beobachtungen. *Ann. Phys.* 99, 235-274.
- Wild H. (1863) Photometrische Untersuchungen. *Ann. Phys.* 118, 193-240.
- Wild H. (1864) Ueber ein neues Saccharimeter. *Ann. Phys.* 122, 626-630. Í lengri grein hans í *Berner Mitth.* um þetta tæki mun það einnig vera nefnt Diabetometer.
- Wild H. (1870) Über die neuste Gestalt meines Polaristrobometers (Saccharimeter, Diabetometer). *Bull. Acad. Impér. Sci. St.-Pétersb.* 14, 149-163. Wild lýsir frekari endurbótum á þessum mæli í *Vierteljahrsschr. Naturf. Gesellsch. Zürich* 1898-99.
- Wild H. (1876) Photometrische Bestimmung des diffusen Himmelslichtes. *Bull. Acad. Impér. Sci. St.-Pétersb.* 21, 312-350. Framhald í 23, 290-305, 1877.
- Wild H. (1883) Ueber die Umwandlung meines Photometers in ein Spectro-Photometer. *Ann. Phys.* 20, 452-468. Sjá einnig Möller 1885.
- Wild H. (1888, 1890) Polarisations-Photometer für technische Zwecke und Untersuchung von Wenham-Gaslampen mit demselben. *Bull. Acad. Impér. Sci. St.-Pétersb.* 32, 193-218 og 33, 5-8.
- Wilde E. (1853) Ueber die epoptischen Farben der einaxigen Crystalle im circular-polarisirten Lichte. *Ann. Phys.* 89, 99-114, 197-223.
- Wiley H.W. (1880) The rotatory power of commercial glucose and grape sugar. A method of determining the amount of reducing substance present by the polariscope. *Proc. Am. Assoc. Advancem. Sci.* 1880, 308-323.
- Wiley H.W. (1896a) On the estimation of levulose in honeys and other substances. *J. Am. Chem. Soc.* 18, 81-90.
- Wiley H.W. (1896b) Determination of lactose in milks by double dilution and polarization. *J. Am. Chem. Soc.* 18, 428-433.
- Wilhelmy L. (1850) Ueber das Gesetz, nach welchem die Einwirkung der Säuren auf den Rohrzucker stattfindet. *Ann. Phys.* 81, 413-428, 499-526, sjá einnig 527-532.
- Wilke E. og H. Handovsky (1913) Untersuchungen am Tyndallphänomen. *Ann. Phys.* 42, 1145-1153.
- Will W. og G. Bredig (1888) Umwandlung von Hyoscyamin in Atropin durch Basen. Beitrag zur Kenntniss der Massenwirkung. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 21, 2777-2791, sjá einnig 1717-1726.
- Williams G.H. (1888) On a new petrographical microscope of American manufacture. *Am. J. Sci.* 35, 114-117.
- Williams J. (1863) A few words more on Benjamin Martin. *Trans. Microsc. Soc. London* 11, 1-4.
- Willigen V.S.M. van der (1869) Sur la réfraction et la dispersion du flint-glass et du crown-glass, ainsi que du quartz et du spath d'Islande. *Arch. Néerl.* 4, 451-460. Framhald um brotstuðla kvars og silfurbergs er í *Arch. Mus. Teyler* 3, 34-54, 1874.
- Willstätter R. og L. Zechmeister (1913) Zur Kenntnis der Hydrolyse von Cellulose. I. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 46, 2401-2412.
- Willstätter R. og R. Kuhn (1923) Über Masseinheiten der Enzyme. *Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch.* 56, 509-512.
- Wilsing J. og J. Scheiner (1909) Vergleichende spektralphotometrische Beobachtungen am Monde und an Gesteinen nebst Albedobestimmungen an letzteren. *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam* nr. 61, 68 bls.
- Wilsing J. og J. Scheiner (1910) Temperaturmessungen von 109 helleren Sternen aus spektralphotometrischen Beobachtungen. *Astron. Nachr.* 183, 97-108. Upp úr *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam* nr. 56, sjá umsögn C.G. Abbots í *Astrophys. J.* 31, 274-278. Viðbót eftir þá og W. Münch er í nr. 74, 1919, 78 bls.
- Wilsing J. og J. Scheiner (1921) Spektralphotometrische Beobachtungen an Gesteinen, am Mond, Mars und Jupiter. *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam* nr. 77, 74 bls.

- Wilson W.E. (1994) The History of Mineral Collecting 1530-1799. *The Mineralogical Record* 25(6), 264 bls. sérhefti.
- Winchell N.H. (1889) American petrographical microscopes. *Am. Geologist* 3, 225-230. Sjá *American Monthly Microscopical Journal* 1886 um Bulloch's Lithological Microscope.
- Winkelmann A., ritstj. (1906) *Handbuch der Physik*, 6. Band, Optik. 2. útg. J.A. Barth, Leipzig, 1404 bls.
- Wislicenus J. (1873) Ueber die isomeren Milchsäuren II. *Liebigs Ann. Chem.* 167, 302-346.
- Wittig G. (1930) *Stereochemie*. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 388 bls.
- Wollaston W.H. (1802a,b) A method of examining refractive and dispersive powers, by prismatic reflexion, *Phil. Trans. Royal Soc.* 92, 365-380. On the oblique refraction of Iceland crystal, 381-386.
- Wollaston W.H. (1809) Description of a reflective goniometer. *Phil. Trans. Royal Soc.* 99, 253-258.
- Wollaston W.H. (1812) On the primitive crystals of carbonate of lime, bitter-spar and iron-spar. *Phil. Trans. Royal Soc.* 102, 159-162. (Bitter-spar er hér magnesium-karbonat, en heitið var einnig notað um dolomit). Tengd þessu er grein hans, On the elementary particles of certain crystals, 103, 51-63, 1813.
- Wollaston W.H. (1820) On the methods of cutting rock crystal for micrometers. *Phil. Trans. Royal Soc.* 110, 126-131. Wollaston-prisma er kynnt hér.
- Wood E.A. (1977) *Crystals and Light*. 2. útg., Dover Publ., New York, 156 bls.
- Wood R.W. (1900) The problem of the daylight observation of the corona. *Astrophys. J.* 12, 281-286, framhald í 13, 68-79, 1901. Sjá og P. Joubin í *C.R.* 130, 1597-1599, 1900.
- Wood R.W. (1905) *Physical Optics*. Macmillan, New York, 546 bls. Sjá *Mynd* 34-1A.
- Wood R.W. (1928) The Raman spectra of scattered radiation. *Phil. Mag.* 6, 729-743.
- Wood R.W. og F.A. Dunoyer (1914) The separate excitation of the centres of emission of the D lines of sodium. *Phil. Mag.* 27, 1018-1025, sjá einnig grein R.W. 524-530.
- Wood R.W. og A. Ellett (1923, 1924) On the influence of magnetic fields on the polarisation of resonance radiation. *Proc. Royal Soc.* A103, 396-403. Polarized resonance radiation in weak magnetic fields. *Phys. Rev.* 24, 243-254.
- Worley F. P. (1912) Studies of the processes operative in solutions. XXI. The hydrolysis of cane sugar by dilute acids. *Proc. Royal Soc.* A87, 555-563. XXII, 563-581.
- Wright F.E. (1908) The bi-quartz wedge applied to polarimeters and saccharimeters. *Am. J. Sci.* 26, 391-398. M.a. um polarimeter Bates 1908.
- Wright F.E. (1910, 1911a) A new petrographic microscope. *Am. J. Sci.* 179, 407-414. Neuere Verbesserungen am petrographischen Mikroskop. *Centralbl. Mineral.* 1911, 555-559, 581-588.
- Wright F.E. (1911b) *The Methods of Petrographic-Microscopic Research*. Carnegie Institution of Washington Publ. No. 158, 204 bls.
- Wright F.E. (1913) An electrical goniometer furnace for the measurement of crystal angles and of refractive indices at high temperatures. *J. Wash. Acad. Sci.* 3, 396-401.
- Wright F.E. (1916) The petrographic microscope in analysis. *J. Am. Chem. Soc.* 38, 1647-1658.
- Wright F.E. (1919a) Polarization photometer prisms. *J. Opt. Soc. Am.* 2-3, 93-96.
- Wright F.E. (1919b) Polarized light in the study of ores and metals. *Proc. Am. Philos. Soc.* 58, 401-447. *Stytt í Mining and Metallurgy* No. 158, 1-12, 1920.
- Wright F.E. (1927a,b) Polarization of light reflected from rough surfaces with special reference to light reflected by the Moon. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 13, 535-540. A polarization photometer eyepiece. *J. Opt. Soc. Am.* 14, 339-341.
- Wright F.E. (1934) An eyepiece for measuring the percentage plane-polarization in a beam of light. *J. Opt. Soc. Am.* 24, 206-216.
- Wright H. (1900) Die diffuse Reflexion des Lichtes an matten Oberflächen. *Ann. Phys.* 1, 17-41.
- Wright W.D. (1932) Some principles governing the design of Kerr cells. *Proc. Phys. Soc.* 44, 325-335. Framhald í 45, 469-475, 1933.

- Wroblewski S. v. (1881) Ueber die Anwendung der Photometrie auf das Studium der Diffusionserscheinungen bei den Flüssigkeiten. *Ann. Phys.* 13, 606-623.
- Wulff L. (1895) Morphologie des Natronsalpeters. *Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin* 1895, 715-732. Framhald um ýmis vandamál við ræktun kristalla: 135-146 og 879-886, 1896.
- Wulff L. (1897) Ueber die Verwendung doppeltbrechender Krystallsubstanz. *Zeitschr. Instrumentenk.* 17, 292-298. Sjá grein V. Wellmans um hornamælingar með kvarsfleyg í *Astron. Nachr.* 122, 1889.
- Wülfing E.A. (1898) Die Theorie der Beobachtung im konvergenten Licht und Vorschläge zur Verbesserung der Achsenwinkelapparate. *N. Jahrb. Mineral. Beilageband* 12, 405-446.
- Wülfing E.A. (1918) Ein neues Polarisationsmikroskop. *Abh. Heidelb. Akad. Wiss., Math.-Nat. Kl.* 6, 79 bls. Með gagnrýni á eldri gerðir smásjáa.
- Wurtz A. (1857) Note sur l'acide caproïque. *Ann. Chim.* 51, 358-361.
- Wyckoff R.W.G. (1920) The crystal structure of some carbonates of the calcite group. *Am. J. Sci.* 50, 317-360.
- Wyckoff R.W.G. (1922) The Analytical Expression of the Results of the Theory of Space-Groups. *Carnegie Institution of Washington Publ. No. 318*, 180 bls.
- Wyckoff R.W.G. (1924) The Structure of Crystals. *Chemical Catalog Co., New York*, 462 bls.
- Wyckoff R.W.G. (1926) X-Ray Diffraction Data from Crystals and Liquids. *Carnegie Institution of Washington, Geophysical Laboratory Papers No. 603* (Endurpr. úr *Internat. Critical Tables vol. I*, 338-353, 413-415, 1926).
- Wölffing E. (1902) Bericht über den gegenwärtigen Stand der Lehre von der Fresnelschen Wellenfläche. *Biblioth. Mathem.* 3, 361-382.
- Yarwood J. (1963) *Atomic Physics*, 2. útg. University Tutorial Press, London, 656 bls.
- Young T. (1802) The Bakerian lecture. On the theory of light and colours. *Phil. Trans. Royal Soc.* 92, 12-48. Önnur grein, An account of some cases of the production of colours not hitherto described, er á bls. 387-397. Sú þriðja, Experiments and calculations relative to physical optics, er í 94, 1-16, 1804 (þýðing og athugasemdir í *Ann. Phys.* 9, 1811). Nánari umfjöllun var í bók hans, *Lectures on Natural Philosophy*, London 1807.
- Young T. (1809, 1810), sjá Laplace (1809).
- Young T. (1814) [Nafnlaus umsögn um nýlegar ritsmiðar eftir Malus, Biot, Seebeck og Brewster]. *Quarterly Review* 11, 42-56. Þar er m.a. vitnað í umræðu um bók og greinar eftir Young sem birtist í 9, 117-125, 1813.
- Young W.J. (1909) The hexosephosphate formed by yeast-juice from hexose and phosphate. *Proc. Royal Soc.* B81, 528-545.
- Yvon G. og A. Duboscq (1880) Diabétomètre à pénombres. *J. Pharm.* 2, 98-100.
- Zahn W.v. (1874, 1878) Über die photometrische Vergleichung verschiedenfarbiger Lichtquellen. *Sitzungsber. Naturf. Gesellsch. Leipzig* 1, 25-29. Über ein Spectro-Photometer. 5, 1-4.
- Zakrzewski C. og C. Kraft (1905) Sur les directions principales dans les liquides biréfringents par l'effet du mouvement. *Bull. Int. Acad. Sci. Crac.* 1905, 506-520.
- Zeeman P. (1897) The effect of magnetisation on the nature of light emitted by a substance. *Nature* 55, 347 (þýtt úr *Verh. Phys. Gesellsch. Berlin* 1896). Sjá einnig í *Phil. Mag.* 43, 226-239, 1897 og *Comptes Rendus Acad. Sci. Fr.* 124, 1444-1445, 1897.
- Zeeman P. og T.L. de Bruin (1927) Magnetische Zerlegung der Spektrallinien. Í *Handbuch der Physikalischen Optik II* (ritstj. E. Gehrcke), 595-682.
- Zehnder L. (1908a) Über ein neues Halbschattenpolarimeter. *Ann. Phys.* 26, 985-997.
- Zehnder L. (1908b) Über die Polarisation des Lichtes bei der Glasreflexion. *Ann. Phys.* 26, 998-1018.
- Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch.* (1888) [Úr fundargerð félagsins varðandi silfurbergs-skort 40, 189, með bréfum og umræðu í Anhang, 191-193]. Einnig birt í *Zeitschr. Instrumentenk.* 8, 63-65.
- Zemiatcenskij P. (1902) Die Kalkspatlagerstätte am Berge Celebi-jaurn-beli in der Umgegend des Baidar-Tores. *Zeitschr. Krystallogr.* 36, 598-605. Í *N. Jahrb. Mineral.* 1903(2), 174-175 er endursögn rússneskrar útgáfu þessarar greinar og annarrar: Der Calcit vom Berge Foros und die ersten russischen Nicols, frá 1901. Sjá þó Sokolow 1898 um nokkrum árum eldri rússnesk Nicol-prismu.

- Zenger Ch.-V. (1889) La spectroscopie de l'invisible. C.R. Assoc. Fr. 18, 339-341. La spectrographie des parties invisibles du spectre solaire. Comptes Rendus Acad. Sci. Fr. 109, 434-436.
- Zernike F. (1916) The clustering tendency of the molecules in the critical state and the extinction of light caused thereby. Proc. Kon. Akad. Wet. Amst. 18, 1520-1527.
- Zhaochang S. (1994) Gigantic and supergigantic clusters of Iceland-spar calcite: mechanism of formation. *Carsologica Sinica* 13, 383-394 (T. Krassmann, pers. uppl.).
- Zippe F.X.M. (1852) Uebersicht der Krystallgestalten des rhomboedrischen Kalk-haloides. Denkschr. Akad. Wiss. Wien 3, 109-190 og 7 myndasiður.
- Zirke F. (1863) Mikroskopische Gesteinsstudien. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien 47(1), 226-270. Útdráttur í Ann. Phys. 119, 288-297 og 644.
- Zirke F. (1866) Lehrbuch der Petrographie I-II. A. Marcus, Bonn, 607+ 635 bls.
- Zirke F. (1873) Die Mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine. W. Engelmann, Leipzig.
- Zirke F. (1876) Microscopical petrography. Í C. King: Report of the Geological Exploration of the Fortieth Parallel, VII. Government Printing Office, Washington, 297 bls.
- Zirke E. (1961) Übersicht der Entwicklung von Polarisatoren. Mineral. Petrogr. Mitt. 7, 484-487.
- Zocher H. (1925) Die optischen Methoden zur Untersuchung der Anisotropie in Kolloiden. Kolloid-Zeitschr. 37, 336-351.
- Zschimmer E. og H. Schulz (1913) Die Doppelbrechung optischer Gläser in Abhängigkeit von ihrer chemischen Zusammensetzung und Form. Ann. Phys. 42, 345-396.
- Zsigmondy R. (1901) Ueber die Absorption des Lichtes in Farbgäsern. Ann. Phys. 4, 60-71.
- Zsigmondy R. (1925) Kolloidchemie, I. Teil. 5. útg. O. Spamer, Leipzig, 246 bls.
- Zurhellen W. (1914) Zur Frage der astronomischen Kriterien für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit. Astron. Nachr. 198, 1-10.
- Zöllner F. (1860) Photometrische Untersuchungen. Ann. Phys. 109, 244-275.
- Zöllner F. (1861, 1865) Stjörnu-ljósmaeli hans er fyrst lýst í bók hans Grundzüge einer Allgemeinen Photometrie des Himmels, útg. í Berlín. Endurbætt gerð er í Photometrische Untersuchungen mit Besonderer Rücksicht auf die Physische Beschaffenheit der Himmelskörper. Engelmann, Leipzig, 322 bls.
- Zöllner F. (1866, 1868) Resultate photometrischer Beobachtungen an Himmelskörpern. Ann. Phys. 128, 260-269. (Hér og í nafnlausri grein: Zöllner's Astrophotometer, í Carl's Repertorium 1, 187-199, 1866 er lýst þrem ljósmælum með Nicol-prismum). Ueber Farbenbestimmung der Gestirne. Ann. Phys. 135, 59-74.
- Þorsteinn Thorarensen (1966) Í fótspor feðranna. Fjölvi, Reykjavík, 391 bls.
- Þorvaldur Thoroddsen (1889) Die Fundstätte des isländischen Kalkspathes. Zeitschr. Instrumentenk. 9, 391-393, þýtt úr íslensku af M. Lehmann-Filhés. Einnig í Himmel und Erde 1, 471-474, og smávegis er í dönsku safnriti, De Danske Atlanterhavsøer, 1905.
- Þorvaldur Thoroddsen (1890) Nogle Bemærkninger om de islandske Findesteder for Dobbelspath. Geol. Fören. Förh. 12, 247-254, þýðing í Himmel und Erde 3, 182-187, 1891.
- Þorvaldur Thoroddsen (1892-1904) Landfræðissaga Íslands I-IV. Hið íslenska bókmenntafélag, Kaupmannahöfn, 259+368+334+410 bls.
- Þorvaldur Thoroddsen (1958-60) Ferðabók I-IV, 2. útg. Snæbjörn Jónsson & Co., Reykjavík, 391+314+367+391 bls.
- Ångström A.J. (1853) Om polarisationsplanets betydelse inom optiken. Öfvers. Kungl. Sv. Vetensk.-Akad. 10, 125-140. Þýðing í Ann. Phys. 90, 582-600.
- Öhman Y. (1933) On the use of Iceland spar in the intensity calibration of slit spectra. Arkiv Matem. Astr. Fys. 24A no. 10, 1-4. Nánar í Stockholms Obs. Annaler 12(6), 1936, 16 bls.
- Öhman Y. (1938) A new monochromator. Nature 41, 157-158 og 291.