Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Møte i Norsk Fysikkråd 71

IFA 25 år 72

Nobelprisen i fysikk 74

Nuffield Advanced Science 75

Varmebevegelser i krystaller, fononer 76

Physics & Society 79

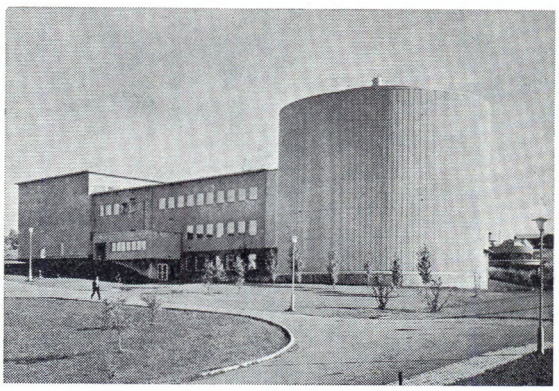
Magnetiske målinger, kartlegging og oljeleting 85

Nye medlemmer 90

Eksploderende molekyler 91

Konferanser under DPG 94

Bøker 84, 90

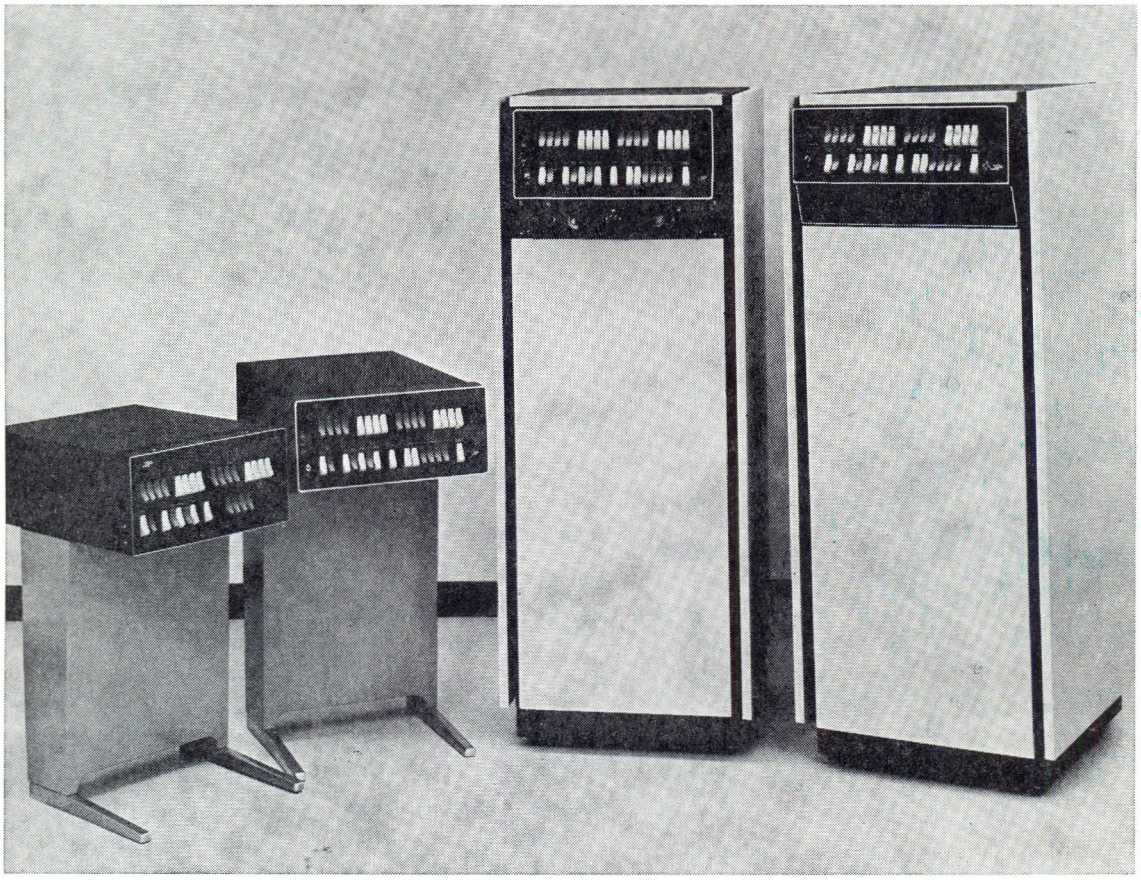


25 år siden Institutt for Atomenergi ble opprettet
(se side 72)

Nr. 4 - 1973
35. årgang

MODCOMP DATAMASKINER

— maksimal fleksibilitet
— multiprogrammering
— samløp av flere prosessorer mulig
— sann tid systemer



— største programvare bl. a.:
Fortran IV kompilator
Basic »
Kryssassembler IBM 360/370
» » CDC 6600
Assembler 175 statements
Makro assembler
Matematikkbibliotek
m. m.

— også tiddeling
— meget rimelige systemer
— hurtigste programeksekvering på markedet blant 16 bits maskiner
— alle vanlige adresseringsmetoder (7 stk.)
— førsteklasses service
— kurs i Florida (nær Disneyland og Cape Kennedy) — reise og kursavgift på kjøpet for større systemer

Rødland & Rellsmo A.S.
FORSKNINGSINSTRUMENTER
Gladengvn. 3 A, Oslo 6 — Telefon: (02) 674590

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 4 1973

Redaktør: HAAKON OLSEN

35. årgang

Møte i Norsk Fysikkråd

Samtidig med møte i Norsk Fysisk Selskap i Trondheim i juni i år ble det holdt møte i Norsk Fysikkråd. Som kjent konstituerte rådet seg i november 1972, men i den korte funksjonstida har rådet allerede rukket å være med i NORDAC's «begravelse», som formannen uttrykte det. På grunn av økonomiske forhold besluttet det nordiske Ministerråd i februar 1973 ikke å gjennomføre NORDAC-planene. I stedet ble det vedtatt en styrkelse av det nordiske samarbeidet på kjernefysikkens område. På denne måten kan en samordne de ressurser som de enkelte institusjoner disponerer. Fra norsk side har en komite med kjernefysikere fra universitetene i Oslo og Bergen vært i arbeid for å utrede hvordan det norske bidrag til et slikt samarbeid best kunne utformes. Fysisk institutt i Oslo har pekt på betydningen av at det finnes en nasjonal eksperimentell installasjon innenfor kjernefysikk og har satt fram forslag om å bytte ut den 20 år gamle van de Graaff i Oslo med en liten syklotron.

Fysikkrådet bifalt en formalisering av det nordiske samarbeidet i eksperimentell kjernefysikk. Dette er av særlig betydning for Norge på grunn av den mangelfulle og umodne eksperimentelle utrustning Norge har innenfor dette feltet. Norske fysikere har allerede i lang tid nytt godt av et utstrakt internasjonalt samarbeid på dette området og har gjort en omfattende innsats av høy kvalitet etter fagfolks mening.

Når det gjelder fysikk generelt viser det seg at bevilgningene bare gir grunnlag for en meget beskjeden vekst i nermeste framtid. På den annen side er det noen institusjoner som har fått mye, slik som CERN og instituttene ved de nye universiteter. Her har politiske forhold spilt inn. Økningen i bevilgningene til de andre dekker neppe kapitalslit en gang. Den anstrengte økonomiske situasjon fører til at behovet for en institusjon som Norsk Fysikkråd er meget stort. Nye prosjekter må ses i stor sammenheng og en prioritering må finne sted der en tar hensyn til beliggenhet, fagområdet, undervisningssituasjonen osv.

Et typisk eksempel er en annen sak som Fysikkrådet hadde på dagsordenen, nemlig EISCAT prosjektet. Det går ut på å bygge sende- og mottakerutstyr for elektromagnetiske bølger i radarområdet i tilknytning til Universitetet i Tromsø. Formålet er å studere inkoherent spredning fra elektronene i ionosfærens plasma i nordlyssonen. Prosjektet er reist og vil få økonomisk støtte av mange andre europeiske land, (de skandinaviske, Frankrike, England, Vest-Tyskland). De totale utlegg vil bli ca. 100 mill. kr. og Norges andel vil bli 15 mill. kr. over en tiårsperiode.

Flere fysikere innenfor fagområdet var innkalt og redegjorde for de faglige og økonomiske forhold vedrørende prosjektet, og planene ble så inngående diskutert av rådets medlemmer. Rådet fant at prosjektet var godt faglig begrunnet og at det bygger videre på Norges innsats innenfor et fagområde der vi har særlige tradisjoner og forutsetninger. Det vil gi landet en stor eksperimentell installasjon av høy klasse og knytte deler av norsk fysikk sterkere til internasjonale miljøer. Under utbyggingen vil en kunne gi interessante oppgaver til norske bedrifter idet Norges del vil bli sendere og databehandlingsutstyr. Utgifter til bygninger håper en at Universitetet i Tromsø kan ta.

Men prosjektet har ikke bare positive sider. Når så mye penger satses på et enkelt fagområde må en gå inn for å få fullt utbytte av investeringene; folk fra andre universiteter og institu-

sjoner må delta. Gjennomføringen av prosjektet representerer derfor en viss fare for ensidighet i norsk fysikk. En må derfor hele tiden passe på å opprettholde bredden i norsk fysikk, særlig at andre sentrale deler av faget holdes på et internasjonalt nivå. EISCAT-prosjektet vil være et viktig norsk bidrag til europeisk fysikk og må ses i sammenheng med de internasjonale prosjekter Norge tar del i. Hvis vi her i Norge av økonomiske grunner kommer i en valgsituasjon, kan det være at europeisk fysisk forskning er best tjent med at Norge prioriterer EISCAT framfor medlemskap i CERN II f.eks.

Behandlingen av slike store forskningsprosjekter har vært vanskelig og til dels utilfredsstillende før, og det ser nå ut til at en gjennom Fysikkrådet har funnet fram til en behandlingsform som vil bidra til en bedre saksbehandling for store hjemlige eller internasjonale prosjekter. Framleis vil vel nasjonale eller internasjonale politiske hensyn spille inn når departement og regjering treffer sine avgjørelser i slike saker, men i Fysikkrådet har en sjanse til å vurdere prosjektenes plass i en faglig ramme og se dem i sammenheng med andre utbyggingsplaner. Rådet vil derfor prøve å skaffe seg en oversikt over de større prosjekter som er i emning.

Fysikkrådet behandlet også spørsmålet om en ajourføring av Riste/Spangen undersøkelsene av norsk fysikk. Rådet hadde ingen mulighet til å gjennomføre en ny liknende undersøkelse, men det ble foreslått å sende rundt et spørreskjema til de enkelte institusjonene.

Neste møte i Norsk Fysikkråd vil bli avholdt i samband med fysikermøtet i Oslo i 1974.

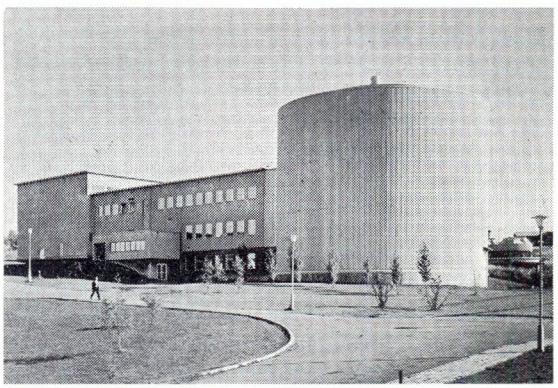
Olav Steinsvoll

---

25 år siden Institutt for Atomenergi ble opprettet

I Polyteknisk Forening i Oslo ble IFA's 25 års jubileum markert med et møte den 6. november i år som helt var viet instituttets tilblivelseshistorie og nåværende plass i forsknings- og utviklingsarbeidet i landet vårt. Jubilanten ble på møtet fordelaktig omtalt av industriministeren, I. Ulveseth, og direktørene V. Hveding, H. Sandvold, H. Ager-Hansen og G. Randers. Hovedtalen ble holdt av direktør V. O. Eriksen på IFA. Overlege N. Norman fortalte om den nytte de hadde gjort seg av IFA's radioisotoper på Aker Sykehus.

Instituttet er vel det største løft som noengang er tatt i Norge for å omsette resultater fra fysisk forskning til praktiske anvendelser ved offentlige midler. Teknisk forskning og utviklingsarbeid hadde aldri hatt noen særlig plass i Norge, og det lå på et lavmål da en skulle ta fatt på gjenreisinga etter krigen. Det ble da nødvendig å opprette NTNF. IFA startet uavhengig av NTNF, men ble ett av de første institutter i Forskingsrådsfamilien. Etter stillstanden under krigen og det store inntrykket som atombombene over Hisoshima og Nagasaki skapte, var det på dette tidspunktet en voldsom interesse og ærefrykt for vitenskap og teknikk. Dette,



Til høyre stålhuset til forskningsreaktoren JEEP II. Til venstre nulleffektsreaktoren NORA. Kontroll- og serviceavdeling ligger i bygningen mellom dem.

sammen med ønsket om en sterk industriell og økonomisk vekst la grunnlaget for en enestående goodwill fra myndighetenes side overfor IFA i de første åra. Industriens holdning var mer reservert. Utviklingen i de første åra bar kanskje preg av en overdreven optimisme og en undervurdering av sentrale tekniske problemer.

Allerede i 1946 forelå de første planene om en norsk atomreaktor og i 1951 var JEEP 1 i full drift. Det blir fortalt at den eneste informasjon konstruktørene satt inne med var en artikkel i Popular Mechanics og en oppskritting av de ytre mål på reaktoren CP-3 i Argonne. Norge var dermed blitt det første landet utenom kretsen av de daværende atommakter som hadde

bygd en reaktor, og utlendingene strømmet på for å ta lærdom av den norske pionérinnsatsen. Denne kraftprestasjonen ble muliggjort av et samarbeid mellom en gruppe unge, entusiastiske forskere, industrifolk og politikere, men en må særlig nevne enkeltpersoner som Odd Dahl, Gunnar Randers, Jens Chr. Hauge (Forsvarsdepartementet) og Bjarne Eriksen (Norsk Hydro).

Dahl var konstruktøren med en enestående intuisjon, Randers kjernefysikeren, Hauge skaffet penger, Hydro skaffet tungtvann, osv. Uranet kom fra Nederland, og av den grunn vokste det fram en institusjon, JENER, som fra første stund dannet rammen for et forpliktende internasjonalt samarbeid på forskningens område. Siktepunktet var fredelig utnyttelse av atomenergien eller kjernekraften.

En slik innsats av norsk anvendt fysikk og teknikk har vi sannsynligvis ikke hatt siden samarbeidet mellom fysikeren K. Birkeland og industrimannen Sam Eyde la grunnlaget for Norsk Hydro. Vanskene var store fordi de viktigste konstruksjonsparametrene for reaktorer, slik som nøytronabsorpsjonstverrsnitt osv. ble holdt hemmelig av stormaktene. Norges nye forskningsreaktor på Kjeller startet en bølge av interesse for utvikling av slike reaktorer. Norges forsprang varte fram til Genevekonferansen i 1955 der stormaktene slapp fri en del av sine hemmeligheter. Stormaktene begynte nemlig å bli redd for at forskningsreaktorene skulle føre til kjernekraftverk som atter ville muliggjøre produksjon av atomvåpen. De slapp derfor ut en del opplysninger mens de samtidig presset på for å få til et internasjonalt kontrollsystem for fissilt materiale slik som uran og plutonium. I 1956 ble derfor IAEA opprettet.

Den største framtida har sannsynligvis kjernekraftverk i industriell kraftproduksjon, og her er det området oppvarming eller prosessvarme som vil gi størst virkningsgrad og best utnyttelse av brenslet. Også på dette området har IFA vært først ute i og med byggingen av Halden reaktoren. Den koker vann og leverer dampen til bruk for tørking av papir i en papirfabrikk i nærheten. Denne reaktoren kom i drift i 1959 og har utviklet seg til å bli en av verdens mest utspekulerte utprøvingsstasjoner for brenselselementer for vannreaktorer, fortalte Eriksen. Her er det internasjonale samarbeidet særlig utpreget, og ni land sender nå brenselsstaver dit for å få dem prøvd ut under virkelige belastninger — både energi-, strålings- og korrosjonsmessig. Stavene blir før bruk utstyrt med instrumenter for avlesing av alle slags parametre (temperatur, forlengelse, væskestrømning, osv.) under reaktorens drift, og måledataene går løpende inn på datamaskiner for analyse og oppbevaring på magnetbånd. Randers påpekte at på denne måten har Norge opparbeidet en ekspertise og kompetanse på reaktorsikkerhetsområdet som sannsynligvis ligger blant de beste i verden. Dette kommer vel med når konstruksjon- og sikkerhetsanalyse av kjernekraftverk nå utføres i Norge. Vi har i vårt eget land fagfolk med stor erfaring og ansvarsfølelse nettopp innenfor det området som blir mest diskutert i kjernekraftdebatten i vårt land. De har også de internasjonale kontaktene som gjør at erfaringer fra andre land kan skaffes og utnyttes effektivt på våre problemer, sa Randers.

IFA har i dag et bredt spektrum av aktiviteter som er sentrert rundt utnyttelsen av forskningsreaktoren JEEP II som ble satt i drift i 1967. Radioisotopene har anvendelser innenfor industrien, til grunnleggende studier innenfor biokjemi og fysiologi, til diagnostikk og behandling på sykehusene våre. Grunnlagsforskning i fysikk innenfor faststoffområdet drives i nært samarbeid med kjemi og fysikkavdelingene på våre Universiteter og høgskoler. En drar da nytte av nøytronenes unike egenskaper som nukleære og magnetiske sonder ved studiet av krystallinske stoffer. Studiet av renseprosessene for brukt uranbrensel har lagt grunnlaget for bygging av et pilotanlegg for renframstilling av sjeldne jordarter på Kjeller fordi de kjemiske prosesser som må nyttes likner hverandre. Erfaringene fra dette anlegget sammen med erfaringene fra Haldenreaktoren har lagt grunnlaget for instituttets kompetanse innenfor prosesskjemi og industriell prosesskontroll, sa Eriksen. Dette utnyttes nå kommersielt i samarbeid med de andre NTNF-instituttene og med Norsk Dataelektronikk. IFA er medeier i en av Norges mest avanserte datamaskiner.

Av alt dette ser vi at IFA har utviklet seg til å bli et viktig ledd innenfor kjeden av nasjonale forskningslaboratorier. Ved å drive avansert forskning, «spissprosjekter», har instituttet skaffet seg et internasjonalt ry og en kompetanse som vil komme vel med i utnyttelsen av de svinnende naturressurser og forbedring av miljø og helse eller såkalt «livsstandard» i Norge.

Einar Jarøy sørget for malurten i begeret ved å ta opp de etiske sidene ved å produsere og oppbevare radioaktivt søppel fra kjernekraftverkene. Dette kan føre til store vansker for våre etterkommere her på jorda, mente han.

Olav Steinsvoll

Nobelprisen i fysikk 1973

Harald Bratsberg

Årets Nobelpris er delt mellom tre fysikere, L. Esaki, I. Giæver og B. D. Josephson, med henholdsvis ¼, ¼ og ½ part av prisen for deres innsats i forbindelse med tunneleffekten. Tunneling, d.v.s. gjennomgang av en partikkel gjennom et begrenset område hvor partikkelens potensielle energi er større enn dens totale energi, er en bølgemekanisk effekt som har vært brukt til en rekke fysiske fenomener, f.eks. felt-ionisering av hydrogenatomet (Oppenheimer), elektronisk feltemisjon, (Fowler & Nordheim), α-decay (Gamau) o.a. Årets prisvinnere har i høyeste grad bidratt til øket forståelse og praktisk utnyttelse av tunneleffekten.

Leo Esaki er født i 1925 i Japan og har sin utdannelse fra Tokio-universitetet. I sine undersøkelser av p–n overganger i halvledere oppdaget han et nytt område med (differensiell) negativ motstand hvilket i 1957 ledet ham til det vi idag kaller tunnel- eller Esaki-dioden. Ved hjelp av meget sterk doping klarte han å lage meget brå p–n overganger (~100 Å). Derved kan ladningstransport gjennom overgangen foregå ved tunneling av elektroner i n-lederens ledningsbånd til p-lederens valensbånd. Denne diode som har et negativt motstandsområde, har funnet mange anvendelser innen moderne elektronikk.

Ivar Giæver er født i 1929 i Bergen og fikk sin eksamen som maskiningeniør ved NTH. Etter å ha mellomlandet i Canada flyttet han til USA hvor han fattet stor interesse for fysikk, hvilket resulterte i PhD i 1964. Giæver undersøkte først tunneling mellom normale metaller og fra 1960 tunneling mellom to supraledere adskilt av et tynt ($\leqq$ 100 Å) isolasjonssjikt. For dette eksperiment eksisterte det ikke noe adekvat teoretisk grunnlag. Målingene viste at den differensielle konduktans var et direkte mål for tettheten av tilstander i supralederne – i strid med teorien for tunneling av uavhengige elektroner. Disse resultater førte til en lang rekke eksperimenter med tunneling mellom metaller både i normal og supraledende tilstand, samtidig som teorien ble gjenstand for nyvurdering og utvidet til å ta hensyn til elektrodenes mangelegeme egenskaper. Tunneling-eksperimentene stadfestet (for de såkalte «weak-coupling» supraledere) BCS-teorien for supraledning. Tunneling har vist seg å være et meget nyttig «instrument» for måling av egenskapene til supraledere, og har dessuten vært kalt «the poor mans infrared spectrometer» p.g.a. inelastiske spredningsprosesser i barrieren. Tunneling mellom to supraledere kan også fremvise et område med negativ motstand og har vært benyttet til å lage forsterkere, oscillatorer og detektorer.

Brian David Josephson er født i 1940 og har sin utdannelse i fysikk fra universitetet i Cambridge, England. Allerede som graduate student leverte han i 1962 som vedlegg til en søknad om et research fellowship et teoretisk arbeide som omhandler både det vi idag kaller Josephson-effekten, og et som senere av P. W. Anderson er kalt «weak superconductivity».

I supraledning har man koherens mellom deBroglie-bølgene som representerer elektronparene (Cooper-parene) i supralederen. Fasen φ til disse makroskopiske bølger ble av prinsipielle grunner ansett for ikke å være målbar. Josephson tok utgangspunkt i en tunneling-modell med to supraledere adskilt av en uhyre tynn barriere (10 Å) og viste at en motstandsløs superstrøm (strøm av Cooper-par) kan flyte gjennom barrieren. Dette er Josephson DC effekt, som utvilsomt mange ganger har vært observert av eksperimentalfysikere, men som beklageligvis lett har latt seg forklare som metalliske kortslutninger i barrieren. Ifølge Josephson er strømtettheten gitt ved $j = j_0 \sin \varphi$ hvor φ bl.a. vil avhenge av et ytre magnetfelt som kan trenge inn i barrieren. I en enkel geometri kan man regne ut at den maksimale superstrøm har formen $\sin \pi x/\pi x$, hvor x er antall fluxkvant i barriereområdet. Dette samt høyere ordens interferenseffekter (parallellkoblete tunnelarealer) er eksperimentelt verifisert.

Er det en potensialforskjell (V) over barrieren, vil fasen endre seg ved $\delta\varphi/\delta t = V \cdot 2e/\hbar$ som gir opphav til oscillasjoner med frekvens $f = V \cdot 2e/\hbar$, eller 483.6 MHz per μV pålagt spenning. Dette er Josephson AC effekt, som eksperimentelt først ble påvist ved endringer i likestrømskarakteristikken forårsaket av mikrobølgebestråling.

Josephsons ligninger gjelder ikke bare for såkalte «Josephson junctions» men også for andre tilfelle av svak kobling mellom supralederne. Dette har vært et viktig forhold for praktisk anvendelse av Josephson-effekten. DC effekten har vært nyttet til måling av magnetfeltendringer med oppløsning bedre enn 10^{-10},

Cand. real. Harald Bratsberg er laboratorieingenør ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

og spenninger ned til 1 fV er detektert. Fremtidig bruk i regnemaskinkretser vil være basert på at når den maksimale motstandsløse strøm overskrides, vil overgang til den nye likevektstilstanden ta mindre enn 1 ns.

AC effekten har vært nyttet til generering og deteksjon av mikrobølge- og submillimeterstråling. Forholdet mellom frekvens og spenning er som nevnt gitt ved $2e/$, og dette er målt $-h$ basert på National Bureau of Standards voltstandard – med et standardavvik på 3,5 ppm. I praksis er det enklere å måle frekvens enn spenning med stor nøyaktighet, og derfor vil det enkle forhold mellom frekvens og spenning danne grunnlaget for en ny praktisk spenningsstandard.

Enkle betraktninger over årets Nobelprisvinneres arbeider viser med all tydelighet hvor fruktbart samspillet mellom eksperimentell og teoretisk fysikk kan være.

Universitetet i Oslo har hatt gleden av å ha Giæver på gjestebesøk hvilket har vært både interessant og inspirerende, og gleden er stor over at han er blant årets prisvinnere. Imidlertid vil nok det at han er tildelt Nobelprisen, utløse en moderne versjon av det gamle diskusjonstema: Var Tordenskiold norsk?

Nuffield Advanced Science

K. J. Knutsen

I august 1973 ble det arrangert et Nuffield Advanced Science Course ved Worcester College of Education som jeg hadde anledning til å delta i. Nuffield Foundation har ydet støtte til flere undervisningsopplegg de siste 10–12 årene. Undervisningsoppleggene er i stor utstrekning utarbeidet av praktiserende lærere som er blitt ledet og hjulpet av en konsultativ komite. Denne har bestått av anerkjente vitenskapsmenn og pedagoger. Det er derfor et stort antall personer som er ansvarlige for det store antall bøker som etter hvert er blitt publisert til bruk for lærere og elever. Den første tiden stod det lite facts i fysikkbøkene. Elevene skulle finne ut mest mulig selv. Men på den måten hadde de liten mulighet for å få svar på ting de ikke skjønte dersom læreren ikke var helt på høyden med situasjonen eller de f. eks. ble syke. Selv om læreren hadde en Teacher's Guide var dette en lite tilfredsstillende ordning. Derfor har man i stor utstrekning forlatt dette prinsipp i NAS (Nuffield Advanced Science) som stort sett er beregnet på elever i alderen 16 til 19 år. I alle lærebøkene er det nå konsise svar på alle spørsmål og oppgaver. Det er bare for eleven å slå opp bak i boken. Det legges heller ingen hindringer i vegen for at eleven skal få tak i Teacher's Guide. Ja, i flere tilfelle er sogar Teacher's Guide innarbeidet i Student's Book. De lærerne jeg snakket med og som hadde erfaring med Nuffield-prosjektet, mente alle at dette var den riktige vegen å gå. De trodde også at man kom til å følge disse retningslinjene når O-level-bøkene skulle revideres.

Det er meningen at man skal komme gjennom NAS-pensumet i løpet av ca. 2½ år med ca. 8 timer pr. uke. Av disse brukes ofte hele 5 til elevøvinger. Elevene anspores til å arbeide selvstendig, men det forhindrer ikke at de forteller de andre om hvilke oppdagelser de har gjort. De diskuterer også ofte med andre elever om hvordan et forsøk bør legges opp. Det er videre meningen at en elev stort sett skal kunne arbeide i det tempoet som passer han. Man bestreber seg ikke på å dekke alle områder av fysikken, men man tar for seg et begrenset antall grunnleggende teorier og viktige idéer og behandler dem grundig. Man forsøker også å lære elevene hvilke argumenter en fysiker bruker og hva slags problemer det er fruktbart for han å gå løs på. For at elevene best mulig skal kunne funne ut av problemene selv, må elevene ofte lære seg stoff fra bøker uten lærerens assistanse. Man skal også få forståelsen av at fysikk er matnyttig. Det er stadig henvisninger i lærebøkene til bakgrunnslesning som viser hvordan fysikken er blitt utnyttet i det praktiske liv.

Jeg fikk et meget godt inntrykk av lærebøkene. Spesielt Unit 9 Change and Chance syns jeg er utmerket; noen bedre start på statistisk mekanikk og termodynamikk er vanskelig å få. Filmene og kasettbåndene som passer til Unit 9 er det heller ikke noe å utsette på.

Eksamensoppgavene blir utarbeidet av Oxford and Cambridge School Examination Board. De er meget gode og meget omfattende. Foruten skriftlige prøver som omfatter både teori og regneoppgaver, har man en Practical Examination på 1½ time. Den består av en 5–6 oppstilte forsøk hvor man blir bedt om å foreta visse målinger. På grunnlag av målingen skal man f. eks. finne ut hva som er inni en «svart boks». De fleste oppgavene er lette, men en par

forts. s. 90

Varmebevegelser i krystaller og fononbegrepet

Olav Steinsvoll

Alle stoffer som vi kaller krystallinske er bygd opp av atomer som ligger regelmessig ordnet i et gitter. Ved hjelp av røntgenstråler kan en få opplysninger om mønstret i dette gitteret: røntgenstrålene avføler krystallgitteret, blir reflektert, og atommønstret i krystallen blir overført til et mønster av refleksjonsmaksima. Avbøyningsvinklene og styrkeforholdene mellom refleksjonene avspeiler atomenes statiske ordning i gitteret eller sagt med et uttrykk fra fagspråket: strukturen. Det fins matematiske former som forbinder strukturen og avbøyningsmønsteret. De er Fouriertransformasjoner av hverandre.

Einsteins teori for spesifikk varme

I forrige århundre fikk en etterhvert en bedre forståelse av varme som en form for bevegelse. Ved en bestemt temperatur er atomene i stadig svigning bort fra sine posisjoner i krystallgitteret, og en strukturundersøkelse av vanlig type gir oss derfor kunnskap om atomenes midlere posisjoner. Fra klassisk mekanikk finner vi at hvert atom besitter en midlere energi av størrelse 3kT som fordeler seg likt på kinetisk og potensiell energi. Når temperaturen øker, tilføres altså hvert atom en svingningsenergi som tilslutt kan bli så stor at samholdet i krystallen blir brutt og krystallen smelter. Utfører vi målinger av den spesifikke varme ved vanlig temperatur på rene elementer og enkle kjemiske forbindelser finner vi Dulong og Petit's resultat, $c_v \simeq 3R$. Ved lave temperaturer avtar den spesifikke varme. Dette ble forklart av Einstein som en kvanteeffekt. Han så på hvert atom som en liten oscillator, eller svingningsinnretning med konstant egen frekvens ω_E. Planck hadde noe før innført kvanteforestillinger for egensvingningene i «en svart boks», men han tok ikke kvantene særlig alvorlig. Einstein derimot tok med seg disse tanker i sin beskrivelse av varmebevegelsen i krystaller. Hver oscillator eller atom kunne etter dette få en energi $n\hbar\omega_E$. Varmebevegelsen i krystaller var kvantisert på samme måten som lyset, ifølge Einstein.

Debyes teori for spesifikk varme

Med sin teori kunne Einstein forklare at den spesifikke varme avtar ved lave temperaturer ved at det midlere besetningstall ‹n› minker. Det var nok ikke full overenstemmelse mellom målinger og teori, og en fikk etterhvert en føling av at Einsteins modell var for enkel. Det var Debye som kom til å forbedre Einsteins teori. Han beskrev varmebevegelsene i en krystall som elastiske svingninger i et kontinuerlig stoff – han så bort fra den atomære struktur i krystallen. På den annen side var hver svingningstilstand eller bølge i stoffet kvantisert. Svingningstilstandene har ulike frekvenser eller energier fra null opp til en grensefrekvens ωD. Hvert atom i en krystall har 3 frihetsgrader og det totale antall svingningsformer som kan være tilstede i en krystall med N atomer er derfor 3N. La oss si at antall bølger med frekvens i intervallet ω til $\omega + d\omega$ uttrykkes ved en fordelingsfunksjon $g(\omega)d\omega$. En betingelse vi må sette opp er derfor:

$$\int_0^{\omega_E} g(\omega)d\omega = 3N \qquad (1)$$

Kjenner vi funksjonen $g(\omega)$ kan vi finne frekvensen ωD. Mens oscillatorenes frekvens er konstant i Einsteins modell, har vi i Debyes modell et helt spektrum av frekvenser med en fordeling av svingningstilstander gitt ved $g(\omega)$. Krystallens atomære struktur blir brakt inn bakdøra ved å kreve at (1) skal være oppfylt.

Begrepet fonon

Elastiske svingninger i et kontinuerlig medium er den modellen vi bruker for å beskrive lydens forplantning i et fast stoff, og det lå da nær å kalle et kvant av svingningsenergi i et fast stoff for et fonon – analogt med lyskvanter som kalles fotoner. Når vi måler lydens forplantningshastighet i et stoff finner vi at den er konstant, uavhengig av lydens frekvens. Vi sier at lydbølgene ikke opplever noen dispersjon. Dette går da også igjen i Debyes teori. Alle longitudinelle bølger som beveger seg i en bestemt retning i stoffet har samme hastighet. Vi kan altså sette

$$\omega = c \cdot \varkappa \qquad (2)$$

der $\varkappa$ er lydens bølgetallsvektor ($\varkappa \sim 2\pi/\lambda$). c er da lydens hastighet. Fra denne likninga kan vi igjen utlede at fordelingsfunksjonen $g(\omega)$ blir proporsjonal med ω^2. Debyes teori gir godt samsvar over et stort temperaturområde med målinger av spesifikk varme og elastiske konstanter for krystaller, men som så ofte før i fysikkens historie kom det atter til avvik mellom teorien og nøyaktige målinger

Born og von Karmans teori (BvK)

Det var Born og von Karmans teori som skulle forbedre Debyeteorien. Vi har sett ovenfor at virkningen av at krystallene i virkeligheten er bygd opp av atomer med en endelig avstand mellom dem ikke kommer til uttrykk i Debyes teori. BvK viste ved en enkel modell, en éndimensjonal kjede av atomer M med avstand a bundet sammen av fjærer med direksjonskraft C_1 (se figur 1), at en bølge beveger seg på dette sys-

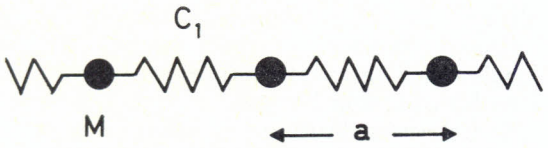


Fig. 1

temet vil oppleve dispersjon. Dette betyr at sambandet mellom frekvens og bølgetall ikke lenger oppfyller en lineær likning. En finner nemlig

$$M\omega^2 = 2C_1[1 - \cos(\varkappa a)]$$

eller omskrevet:

$$\omega = (4C_1/M)^{1/2} \sin(\varkappa a/2) \qquad (3)$$

Denne funksjonen er framstilt i figur 2. Vi ser at for små bølgetall (lang bølgelengde) har vi en tilnærmet lineær sammenheng mellom frekvens og bølgetall slik som i likning (2), men for større bølgetall bøyer frekvensverdien av og vi får at frekvensen blir en periodisk funksjon av bølgetallet. En høyeste frekvensverdi opptrer for $\varkappa = \pm \pi/a$ eller $\lambda = 2a$. I området rundt grensefrekvensen er dispersjonskurven nesten horisontal over et stort område av $\varkappa$, og for fordelingsfunksjonen $g(\omega)$ vil dette bety at vi får en stor topp i $g(\omega)$ for grensefrekvensen ω_E. Når $\lambda = a$(dvs. $\varkappa = 2\pi/a$) eller a/2, a/3 osv. betyr dette en bølge som flytter alle atomer like mye i én retning. For en slik forflytning opptrer ingen kraft som vil føre krystallen til utgangsstillingen, og frekvensen blir null.

Det fysisk interessante området for $\varkappa$ blir derfor av størrelse $2\pi/a$, men siden vi vil ha med bølger som går begge veier på den lineære atomkjeden vår, legger vi inn dette området slik at

$$-\pi/a \leqq \varkappa \leqq \pi/a \qquad (4)$$

Dette området kalles den første Brillouin sonen for det lineære gitter. Ved grenseverdien $\varkappa = \pi/a$ har vi ikke lenger noen vandrende bølge, men en stående bølge i krystallen. Det er klart at på en slik lineær kjede av atomer kan det forekomme to ulike typer svingninger, én type der atomene svinger mot (fra) hverandre i kjedens retning – de såkalte longitudinelle svingninger, og en annen type der atomene svinger ut til siden – de transverselle svingninger (se figur 3).

Ulike atomer i kjeden

Hvis vi forsøker samme utvikling på en modell som består av to ulike slag atomer (som

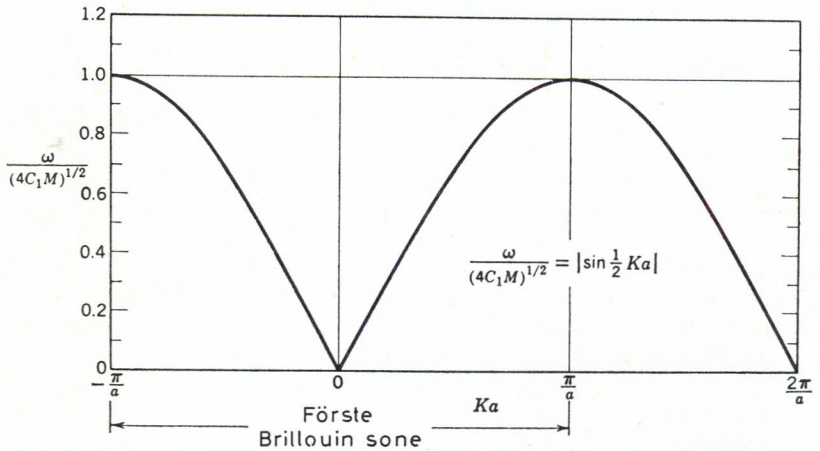


Fig. 2

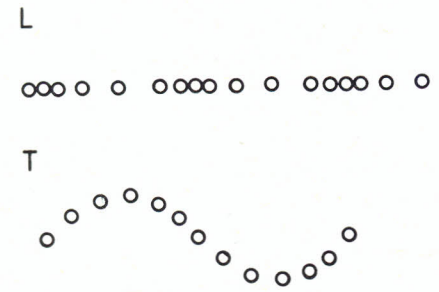


Fig. 3

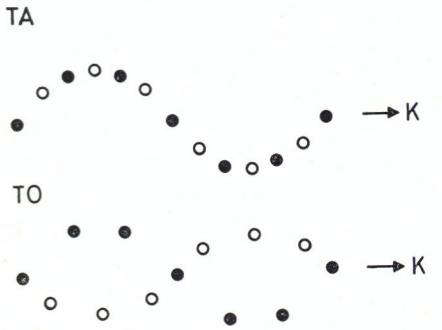


Fig. 4

f.eks. positive og negative atomer i en jonekrystall) langs en lineær kjede finner vi at nye fenomener opptrer. Dispersjonskurven får nå to greiner — den akustiske og den optiske grein.

Hvis vi betrakter transverselle bølger langs den svingende kjeden får vi et bølgeforløp som på fig. 4. Her er en optisk og en akustisk svingningstilstand framstilt der de begge har samme bølgelengde. Det svingende elektriske feltet i en elektromagnetisk bølge vil drive positivt og negativt ladde atomer fra hverandre slik at de svinger i motfase, og det er nettopp dette som skjer når lys blir sterkt absorbert i jonekrystaller. Derav navnet — optisk svingning. Dispersjonskurven for de to svingningstilstander er framstilt i figur 5.

Krystall i tre dimensjoner

Går vi så over til en tredimensjonal krystall finner vi tilsvarende forhold som på den lineære kjeden. Tar vi for oss en bølge som går langs en hovedretning i en krystall kan vi få tilsvarende likninger som ovenfor bare ved å erstatte våre atomer langs kjeden med atomplan. Når planene svinger mot hverandre har vi en vanlig lydbølge eller longitudinell svingning, men når planene svinger sidelengs har vi en skjærbølge eller en transversell svingning (se fig.

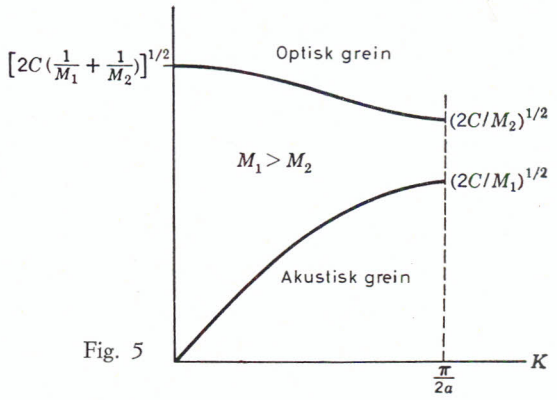


Fig. 5

6). Det er også lett å innse at en kan ha to ulike transverselle bølger for samme bølgeforplantningsretnig i krystallen. Sidelengsbevegelsen ved svingningen kan nemlig foregå langs to ulike retninger i planene. Dispersjonskurvene for transverselle svingninger kan da enten falle sammen (degenerasjon) eller være ulike alt etter hvilke forplantningsretninger i krystallen vi studerer. Vanligvis vil en finne én longitudinell og to transverselle svingnigsformer i én hovedretning i krystallen. Ved å integrere over frekvensspektret som en kan få ut av denne modellen, kan en så finne den spesifikke varme til stoffet og på den måten få prøvd hvor god modellen er — på samme måten som Dulong-Petit, Einstein og Debye gjorde. Det viser seg likevel at vi ved hjelp av nøytronene fra en kjernereaktor kan få en prøve på teorien som er mer direkte enn å sammenligne med makroskopiske størrelser som spesifikk varme. Ved uelastisk spredning av termiske nøytroner kan vi gjøre mikroskopiske målinger av dispersjonskurver. I en seinere artikkel skal vi behandle denne metode generelt og etterpå spesielt ta for oss noen instrumenter som vi bruker til dette formål på Institutt for Atomenergi, Kjeller.

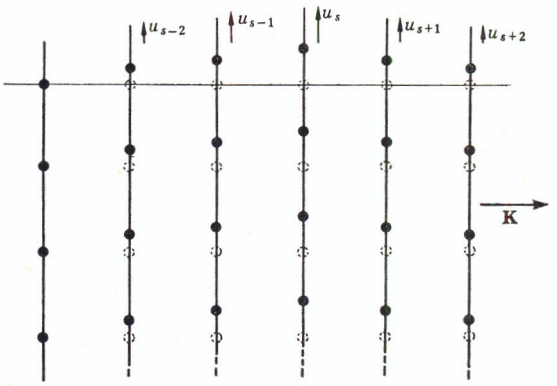


Fig. 6

Physics & Society

H. B. G. Casimir

Professor H. B. G. Casimir var en av de yngste som kom med i atomfysikkens utvikling i kretsen omkring Niels Bohr. I dag er han en av veteranene som har gjort vesentlige arbeider på praktisk talt alle områder av fysikken.

Fra senere år vil jeg særlig nevne oppdagelsen av en kohesionskraft som virker mellom parallelle overflater «Casimir-kraften» er en makroskopisk effekt, men den henger sammen med kvantefluktuasjonene i det elektromagnetiske felt.

Av andre viktige arbeider fra Casimirs hånd skal også nevnes hans bidrag i Supraledningens termodynamikk, To-væske modellen for flytende Helium, teorien for hyperfinstruktur, Compton-effekt på bundne elektroner, den alminnelige rotator i kvantemekanikken, og verdifulle gruppeteoretiske metoder. Betegnelsen «Casimir Operator« brukes i to betydninger:

a) om sentrum i en Lie-algebra
b) om en projeksjonsoperator for positive energier i Diracs elektronteori

Et arbeide som vi videre har grunn til å huske er Casimirs artikkel: «On Onsagers Principle of Microscopic Reversibility» som kom i 1945. Det bidro meget til at Onsagers arbeide fra 1931 ble alminnelig forstått.

Professor Casimir er nylig vendt tilbake som professor i Leiden etter mange år som vitenskapelig direktør i Philips. Som alle vil vite er han nå president i Det Europeiske Fysiske Selskap.

H. Wergeland

Human civilisation began, not when man started to make and to use tools but when he found time to decorate and to embellish his tools. The essence of culture is always in those things that from a purely utilitarian point of view are unnecessary, superfluous or even wasteful. This holds for tools, food and clothing, for palaces, temples and cathedrals, but also for games and for ritual, for empirical knowledge and theoretical speculation. Certainly, in many cases such non-materialistic cultural activities may have been prompted by a fear of supernatural powers; they may even be regardes as attempts to placate or to dominate such powers — but that does not mean they are utilitarian in the current sense.

If we take this view of civilisation then the problems of the relation between physics and society should be discussed along the following lines. To what extent can society afford to support physics as a spiritual adventure, as a search of knowledge for knowledge's sake? On the other hand, what can physics do to make its achievements less esoteric, to let more people share the excitement of discovery and understanding? The Chinese in the old days used gunpowder primarily for fire works on festive occasions, thus providing ephemeral entertainment to huge crowds of people. Today, in our big accelerators we use far more impressive machinery to produce fireworks of extremely short lived particles, but the number of people uttering groans of admiration on seeing a beautiful bubble chamber picture is small compared to the crowds audibly admiring firy stars and multicoloured gerbes unfolding high above their heads.

But that is not all. Physicists should also consider to what extent their results and their methods might further other sciences. And might natural philosophy not be a valuable weapon in mankind's struggle against fear and superstition and prejudice?

There have been, there still are physicists that look at their subject in the way I indicated. I recently had the privilege to listen to Dirac talking about the early days of quantum mechanics and he made it clear that for him the beauty of equations had always been a main guiding principle.

Let me quote another instance. Shortly after the end of the second world war and the liberation of Holland I wrote a letter to Pauli who was then in the United States. I explained to him that we had been rather isolated during the war years and that I would be grateful if he could indicate to me what he concidered the main developments in physics in the United States during the war years. His answer was characteristic. He wrote: "prepare yourself for a great disappointment when the journals arrive. This country is ideal for large projects like radar, or nuclear weapons, but nothing of any importance has happened here". On second thought he slightly corrected this judgement and he sent me a reprint of Onsager's paper on order-disorder transitions in a two dimensional lattice.

Professor Casimirs artikkel er tidligere offentliggjort i Kosmos 1973. Artikkelen bygger på foredrag i Washington ved I.U.P.A.P.-møtet i september 1972 og i Wiesbaden ved E.P.S.-møtet i oktober 1972.

Let us be grateful that there have existed, that there still do exist people who rate the theory of order–disorder transitions higher than nuclear weapons or nuclear power.

I suppose that by now some of you are getting impatient, you may feel that what I have been saying so far has no bearing on the problems of physics and society at all, that I have been talking sentimental nonsense about irrelevant futilities, and that the essential problems are quite different and are connected with the relations of physics and technology and of technology and society. Physics has become an essential element in our technological structure, and the fact that you may rightly regard my introductory remarks as irrelevant is a telling symptom that reveals the extent of our involvement.

Our Western society is an industrial and technological society. Our food and our clothes, our means of transport and of communication, our entertainment and our hobbies and even our sexual behaviour have become to a large degree dependent on industrial products and industrial production is based on knowledge acquired from science.

This technological society does not regard physics in the first place as a noble spiritual adventure, as a real calling for a few and as a source of enrichment of intellectual experience for many, but as an activity contributing to the growth of the G.N.P. Society does not support physics because of the things we consider essential, not for beauty and depth, not for "objects and knowledge curious" as Walt Whitman put it. The German poet Schiller was already well aware of this when he wrote the famous lines – excuse my imperfect translation and remember that the German word for science is feminine – "To some she appears as a glorious,heavenly goddess, to other she's a reliabel cow, giving us butter and milk". On the other hand, physics has become more and more dependent on the products of advanced technology. I have on several occasions described this interactive system of physics and technology as a science technology spiral. Let me briefly summarize its main features. Progress in basic physics was nearly always made by physicists doing physics for its own sake, studying the phenomena of nature out of curiosity. Now it is true that the phenomena occurring in empirically developed crafts belong to the phenomena studied by physicists. Beams had been bending under loads, water had been pumped, ships had been sailing and windmills turning before the theory of elasticity, before hydrodynamics and aerodynamics were developed. Diderot and D'Alembert and their coworkers make the round of workshops and interviewed artisans, but since then the picture has been radically changed. Thermodynamics is probably the last example of fundamental theory partly based on empirical technology; in this case the technology of the steamengine. Some people may point that the discovery of the ionosphere was a consequence of Marconi's practical application of hertzian waves and there are more cases, also in recent technology, where superciliously negative theoreticians were put to shame by enterprising practical engineers. But, although in such cases faulty conslusions may be corrected and incompletely worked out theories may be completed, no really new ideas are developed. The fact remains that technology has become more and more dependent on results of basic physics obtained many years previously by physicists doing physics for its own sake. Many branches of industry could even not be imagined without this basic research preceding it. Electromagnetic induction and magnetic forces on currents on which dynamos and electric motors are based were not invented by industrialists that were dissatisfied with belts for transmitting power. The equations of the electromagnetic field and electromagnetic waves were not invented by managers of postal services, dissatisfied with the speed of horses er even trains. Radioactivity and the existence of the atomic nucleus were not discovered by boilermakers or manufacturers of hydroelectric powerstations looking for other sources of power, nor by the military looking for convenient means of wholesale destruction. The electron was not discovered by industrialists who wanted to bring entertainment by radio and television into every home nor by politicians who looked for new ways for getting their ideas across to the public. Nor was quantum mechanics developed in order to find a substitute for the radio tube, although there can be no question that the transistor was discovered by physicists who were thoroughly familiar with the quantum mechanics of electronics in solids. Even in the older industries empiricism is largely replaced by science-based development. It may be true that thermodynamics partly arose out of a study of existing steamengines, but no modern thermal engine be it a steamengine or turbine or a stirling engine —a pet child, and so far a rather costly pet child of the Philips laboratories–could be designed today without a thorough knowledge of advanced thermodynamics. Technology does not use all of the results of physics. There are many

beautiful and intellectually important results that so far have found no application and may never find application. On the other hand the results of fundamental physics may not always be sufficiently detailed for technical use. It is here that the adademic scientist and the scientist working in industry meet. Most academic scientists are not working at the very front of science. They are filling gaps, studying details, they are simplifying or generalising. This is exactly what physicists in industry are doing. Although motivation and reward system may be different, there is not much difference in their methods of the way of thinking once they have chosen their problem. A further remarkable feature is that technology never uses results at the very front of science. There has always been a lead time of 15 or 20 years and there is no indication that this time is getting shorter. On the contrary it may get longer. It seems to me that this point is rather essential. So let me repeat a few examples. The existence of the electron was reasonably well established in 1900; before 1910 the first triodes had been made. The existence of electrons and holes in semi conductors was established before 1930; it lasted more than 15 years before the notion of positive poles was made use of in the transistor. The notion of stimulated emission was introdused by Einstein in 1917 and the idea of inverted population of energy levels must have been current among people dealing with gas-discharges in the twenties. It took 30 years before the maser was invented and from then on it took quite a number of years before lasers found their way into technical devices. Superconductivity was discovered in 1911; economically important applictions are still round the corner. No applications are in sight for particle physics nor for general relativity. Physics on the other hand uses the products of technology and also the most recent ones, the largest computers e.g. Finally basic physics may invent for its own use technological products or methods that can be used by an industry not at all interested in the basic work as such. That happened with optical devices designed by astronomers, and with the electronic circuits designed by nuclear physicists for particle counting. In this picture the influence of wars becomes obvious. In general, war leads to a stagnation at the very front of science–compare Pauli's letter–but in some fields it leads to a considerable shortening of the time lag between basic discovery and application. The technology thus created may later be used in basic research. Radar, nuclear power and to a certain extent digital computers are examples.

If we want to speak about today's problems of physics and society we have to start by admitting that most of us if not all of us are part of this spiral structure. And now we have come to a parting of ways. If we believe that technological progress is essentially a good thing and that increasing knowledge is a good thing and that whatever hardships or sufferings may be caused or at least condoned by technocracy are only passing childhood diseases that will be cured by science and technology itself then we should rejoice because of the astounding efficiency of the science technology spiral. The problems of physics and society are then mainly problems of improving this spiral mechanism still further. Then we will aim at an ever better matching of academic research and industrial research. Then one cannot avoid to consider a really advanced project in fundamental research from the point of view of the role part of it might play in this spiraling process and let us admit it that is the way most of us have been conditioned to think. Even if we speak scathingly about motorcars and aeroplanes we would not like to miss their comfort. We may still remember, be it only from stories, the weary toil of working man less than a century ago and we should not wish to do away with electrical power and mechanical tools. We cannot help being fascinated by the ingenuity of new devices. In answer to criticisms relating to the obnoxious effects of technology we may justly remark that science and technology themselves harbour many possibilities to combate such effects. Too much energy consumption might be avoided by designing equipment with higher efficiency, traffic congestion might be relieved by better telecommunications. Polluting effluents might be removed and even turned into useful products.

But we may take a different point of view. We may also regard this spiral as an ominous monster, as a force that is getting out of control and that will lead to havoc and destruction. Then we may remark cynically that although a very low value of GNP goes together with abject poverty and misery there is ample statistical evidence that increase beyond certain limits leads invariably to an increasing crime rate and therefore a decrease in personal safety and peace of mind, to an accumulation of dirt and litter in our cities, to a deterioration in public transport, postal services and other public services and to a growing feeling of discontent

among the younger generation. And once we take this point of view there is no escape. A pure scientist may admire laser physics for the insight it provides into the relations between macrosopic electrodynamics and quantum field-theory for the possibility of studying the curious details of nonlinear optics or simply because of the beautiful demonstrations of optical interference that it provided, but we cannot forget that technology, industrial and military, is not particularly interested in these features, and that lasers are being used to assist in the callous and cowardly destruction of life and propety and in the engineering of irrestorable damage to the human habitat. Lasers and modern electronics and many other achievements of science-based technology are the tools of political aspirations that appear to justify ruthless destruction in the eyes of some, that are loathsome in the eyes of others and that are at least questionable to many. Then the issue of supporting particle physics is no longer a gentle farce played by both parties with their tongue in their cheek but it assumes much more frightening proportions. Let me explain. Society may claim to support particle physics and accelerators because it is interested in knowledge as such, but at the back of its mind it believes that–something–that is something of economical value—will ultimately come out. Scientists, while at heart only interested in the basic results, point out that in the past research that looked equally unpractical gave rise to entirely new industries. As I said it might be a gentle farce, but if we look at the ominous power of the science technology spiral then we may be thoroughly alarmed. Since we cannot at this moment see any application of high energy physics, therefore, when such an applicant should come, it must be entirely beyond our imagination. And since we have so far been unable to keep existing scientific knowledge under control, we may well be scared about what mankind would do with entirely new possibilities. Incidentally such misgivings are not confined to physics. Many of you may remember an incisive article by Watson in the Atlantic Monthly entitled "Is this really what we want?" where he discusses the possible impact of molecular genetics on mankind. I believe the dangers are real enough and yet if in some committee on science policy in my own country I make a statement that I would be happy to give more support to high energy physics, if I would only have a guarantee that it will have no possible industrial application for the first 25 years, I am not taken seriously, but regarded as a naughty "enfant terrible" that likes to make paradoxical cracks.

I have briefly sketched two different attitudes. You may now want to know where do I stand? And my answer will be hesitant and evasive. Like most of you I love physics and after more than 45 years of study I am not less fascinated by it thrills and its challenges than I was as a young student. Also, though I have not been an inventor or an engineer I am fascinated by many aspects of technology and I do have some confidence in the ability of technology to find adequate solutions for many of the problems that technology itself has created. Yet I have in recent years, probably again like many of you, become increasingly alarmed about the influence of science-based technology not only on the waging of war but also on the destruction of the environment and on the nature of human relations. I am increasingly inclined not to speak about the efficient, the fruitful, the glorius spiral, but about the ominous, the inexorable spiral.

The word inexorable brings to mind a passage in C. P. Snow's essay on Einstein: "The bomb was made. What should a man do? He couldn't find an answer which people would listen to. He campaigned for a world state: that only made him distrusted both in the Sovjet Union and in the United States. He gave an eschatological warning to a mass television audience in 1950:

And now the public has been advised that the production of the hydrogen bomb is the new goal which will probably be accomplished. An accelerated development towards this end has been solemnly proclaimed by the President. If these efforts should prove successful, radioactive poisoning of the atmosphere, and, hence, annihilation of all life on earth will have been brought within the range of what is technically possible. *A weird aspect of this development lies in its apparently inexorable character. Each step appears as the inevitalbe consequence of the one that went before.* And at the end, looming ever clearer, lies general annihilation.

That speech made him more distrusted in America. As for practical results, no one listened. Incidentally, in the view of most contemporary military scientists, it would be more difficult totally to eliminate the human species than Einstein then believed. But the most interesting sentences were the ones I have italicized. They are utterly true. The more one has mixed in these horrors, the truer they seem."

As I said, I am unable to clearly define my position. Still less can I present a solution. I should like, however, to formulate a few simple and straightforward recommendations.

1. A physicist should realize that being a physicist does not put him in a position beyond all responsiblity, even if he is dealing with abstract academic subjects. He cannot sit in a corner, pull out the plums be likes and say: What a good boy am I. Such Jack Hornerism just won't do.

2. Since we are unwilling and probably unable to stop the development of science and technology and since we are quite obviously unable to design a comprehensive masterplan for science and society, our best chances for gaining some control over the ominous spiral lie in a plurality of controls, in an independence of opinion of the several participating groups, and in openness.

3. In particular, universities should maintain their independence versus industry and industry should respect this independence.

I want to discuss this aspect in more detail. In my presidential address at the annual meeting of the European Industrial Research Management Association at Dublin in 1970 I formulated a number of rules of behaviour for the dealing of industry with universities. I should like to repeat them here.

A) Do not try to influence programmes of basic work. Even if we are unsuccessful in trying to do this we may create a lot of ill will. If we are successful we might do a lot of harm to human culture.

B) Do not try to determine the curriculum as long as it provides a sound training in fundamentals and gives the student a broader view and a sense of perspective; do not object if it also includes subjects that are irrelevant from a purely industrial point of view.

C) Straightforward development tasks are best done in your own laboratories. It is improbable that the university would be willing and able to do such work in accordance with requirements of industrial practice.

D) Since much of the work in academic institutions is of a similar nature to work in industry, even though the motivation is different, I see no harm in industry suggesting certain themes or supporting work it is interested in, in a general way.

E) A university should never accept conditions of secrecy and industrial security. Free discussions and free publication are inviolable privileges of the academic community. Economic necessities make it impossible for industry to emulate these principles in their entirety, but industry should respect them in universities. There is also a practical side to the question. If you really want to keep a thing secret, do it on your own premises.

F) Do not insist on exclusive rights to inventions. This leads to complicated legal negotiations and usually the game is not worth the candle. If the university wants to pursue a patent policy of its own, then arrange for a non-exclusive licence beforehand.

G) Avoid under the table arrangements with one professor or scientific member. He can come to your laboratories as a consultant, that is alright, but he should not set his students to work on your problems without their knowing what it is all about.

Speaking about conditions of secrecy, let me relate a little anecdote. Many years ago Ernest Lawrence came to visit the Philips Research Laboratories at Eindhoven. Visitors in those day had to sign a form with many stipulations in small print. People usually signed without reading and I do not remember any single case where these rules made any difference. Lawrence, however, read them carefully and said: "I cannot sign this. It says I shall not communicate what I have seen in your laboratories to third parties and that is just what I will do. I come here to see things I can tell to my students and my collaborators. I understand that you will not answer all my questions but I want to be free to use whatever I have seen and heard."

So I struck out the offending sentences, put my signature besides it and that was that. I did not even have much trouble with our security people afterwards: they did not really believe in their own small print.

But let me come back to my recommendations.

4. Relations between the military and the universities–if they exist at all–should *at the very least* follow similar rules as those between industry and universities.

5. It would be desirable to have also a more clear cut separation between industry and the military. That is hardly a matter for physicists although physicists in industrial research laboratories might have some influence.

6. The time lag between fundamental science and technological applications makes it difficult to assess possible consequences and to define responsibilities. If academic scientists working on basic problems would refuse to col-

laborate with industry or with the miliary from today onwards this will hardly influence technical development for quite some time to come.

Yet I want to make one more recommendation. It is my personal opinion that, at the present time and in view of the alarming uses of sciencebased technology in warfare, no scientist in an academic position should of his own free will be active in or advise on military technology. As I said, this is a peronal opinion but I know it is shared by many of my colleagues and an impressive number of students. Such an opinion implies a condemnation of the powers that be, or rather a lack of confidence in the powers that be. Yes, I distrust any very large, very comprehensive and partly secret organization and I have scant confidence that government and the military branches of government will deal wisely and charitably with the immense power that has been made available by science and technology. In a world of brutal violence and clashing patterns of living, where contending ideologies breed murderous fanaticism, although the ideologies themselves may be no more than a cloak for short-sighted selfishness, in such a world a decision of university physicists to refrain from military work can be no more than a symbolic gesture. Some may even call it a hypocritical gesture, because we continue to enjoy the privileges and the amenities and the comforts that government protects. But a symbolic gesture can be meaningful and even hypocristy shows at least some sense of values. As La Rochefoucauld put it: "l'hypocrisie est un hommage que le vide rend à la vertu" (hypocrisy is a homage that vice renders to virtue).

Ladies and gentlemen, I have come to the end of my talk. I have tried to analyse to the best of abilities some of the bewildering intricacies of the relations between physics and society, but I can hardly hope to have made clear to you what is unclear to myself. If, however, some of my remarks have been sufficiently provocative to make you reexamine your own ideas, your own individual choice of position, then I shall be more than satisfied.

Bøker

Stuart J. Inglis: Planets, Stars and Galaxies. Third edition. John Wiley & Sons, Inc., 1972, 498 sider. Pris £ 4.85.

Paul Bergsøe: Verdensrummet og Vi. Revidert og ajourført utgave ved P. M. Hejlesen og J. Rossen. Gyldendal, København 1972, 383 sider. Pris D. kr. 85,– (innb. D. kr. 100,–).

Popularisering av vitenskap er viktig, men oftest uhyre vanskelig. Blir forenklingen for grov, — føres leseren bak lyset. Skal fremstillingen holdes tilstrekkelig korrekt, forblir stoffet ofte utilgjengelig for en stor del av det publikum en ønsker å nå. Astronomi og astrofysikk har vært emnet for adskillige populærvitenskapelige bøker. De to som her skal omtales, er beregnet på noe forskjellige leserkretser. Inglis' bok er en lære-bok, beregnet på ikke-realfag studerende. Siktemålet har vært å gi disse studentene et begrep om menneskets plass i, og forhold til, universet. Dette gjøres omtrent uten bruk av matematikk, men det stilles absolutt krav til et aktivt engasjemen hos leseren. Hvert kapitel følges av en rekke oppgaver som synes vel egnet til en «selvkontroll» av hvor meget en har forstått av teksten. Dertil kommer fyldige litteratur-referanser.

En har ikke i Norge universitetsundervisning av slik art som denne boken er skrevet for. Det kan være å beklage, – kløften mellom «de to kulturer» synes å være vanskeligst å stige over for «ikke-realistene».

Det kan derfor være å håpe at riktig mange her hjemme vil lese Bergsøe's bok. Paul Bergsøe vant seg et navn langt ut over Danmarks grenser som en fremragende popularisator på mange områder av naturvitenskap. Stoffvalget i hans bok «Verdensrummet og Vi» er omtrent det samme som i Inglis' bok. Vi lærer om planetsystemer, – om solen og andre stjerner, og om galakser. Men fremstillingen hos Bergsøe er mer «anekdotisk» enn hos Inglis, og han henvender seg til et bredere publikum. Dette har ikke gått ut over korrektheten, men enkelte ganger har det selvsagt vært nødvendig å vise til at stoffet ikke lar seg forklare fyldestgjørende innen den ramme forfatteren har valgt.

Begge bøkene er nye, reviderte utgaver, der de seneste resultater oppnådd under måneferder og med romsonder, er inkludert. Også billedmaterialet fra disse er imponerende. For Inglis' vedkommende kan det vel kritiseres at russernes romferder snaut er nevnt. At det har vært lettere å få illustrasjoner fra de amerikanske undersøkelsene er rimelig nok, men lesernes inntrykk kan bli noe skjevt.

Alt i alt to bøker som kan anbefales for lesere som ikke allerede har gode kunnskaper i astrofysikk.

Olav Holt

Anmeldelsen gjentas da tre linjer dessverre var falt ut i forrige hefte. H. T.

Stopp press:

Fysikermøtet er lagt til 20.—21. juni 1974, i Oslo.

Fra Sekretariatet NFS:
Husk å betale kontingenten!

Årsregisteret kommer i neste hefte.

Magnetiske målinger til hjelp ved geologisk kartlegging og oljeleting

*Inge Aalstad**

Jeg skal i det følgende fortelle litt om en måte å benytte fysikk på som kanskje ikke er særlig kjent blant fysikere. Det er det som, med en etter min mening lite dekkende betegnelse, kalles «anvendt geofysikk». Med dette mener man vanligvis den del av den faste jords fysikk som omfatter studiet av de øvre lag av jordskorpen med henblikk på en økonomisk utnyttelse. Som en mer direkte definisjon av fagområdet kan en si at det er fysikk anvendt på praktisk geologiske problemer, idet man utnytter de forskjellige bergarters og malmers fysikalske egenskaper til å undersøke og kartlegge de geologiske forhold.

Av de forskjellige metoder som benyttes skal jeg her bare behandle *magnetiske målinger* som utnytter de effekter som oppstår i bergartene i de øverste lag av jordskorpen på grunn av jordens naturlige magnetfelt. Dette felt tilsvarer som kjent i hovedtrekkene feltet fra en magnetisk dipol plassert i jordens sentrum. Et utsnitt av et verdenskart over totalfeltets styrke er vist på fig. 1, og vi ser at i Norge øker feltet fra ca. 49 000 gamma i syd til ca. 53 000 gamma i nord (1 gamma = 10^{-5} Gauss. I anvendt geofysikk benyttes fremdeles c.g.s.enheter). Det viste felt er et utglattet felt, eller normalfelt, som ikke gir noen opplysninger om de geologiske forhold. På fig. 2 er vist resultatet fra en noe mer detaljert kartlegging. Kartet er basert på målinger med ca. 30 km profilavstand i 3000 m flyhøyde foretatt av Dominion Observatory i 1965 for de geodetiske institusjoner i Norden. Selv ved denne forholdsvis grove profilavstand avspeiler kartet klart visse geologiske formasjoner. Et område med forsterket felt langs Oslofjorden viser seg for eksempel å tilsvare den velkjente geologiske provins, Oslofeltet.

Årsaken til slike avvik fra det normale jordfelt, eller *magnetiske anomalier* som de gjerne kalles, er at det i magnetiserbare legemer, f. eks. en bergartsone i jordskorpen med magnetiske egenskaper forskjellig fra omgivelsene, vil oppstå en ekstra magnetisering ved induksjon i jordens normalfelt. Et slikt magnetiserbart legeme blir selv en magnet som omgir seg med et privat magnetfelt (sekundærfelt), og en oppmåling av dette felt vil derfor gi oss opplysning om fordelingen av magnetisk materiale i jordskorpen.

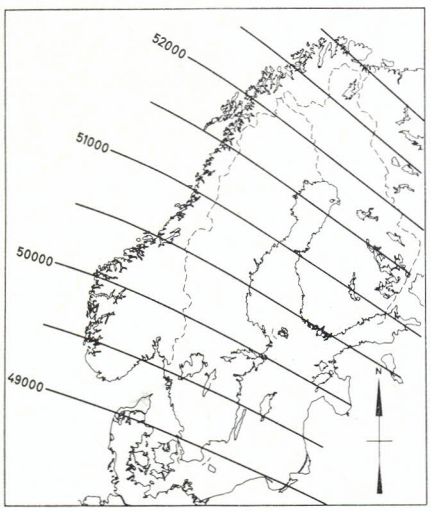


Fig. 1 Magnetisk normalfelt Skandinavia

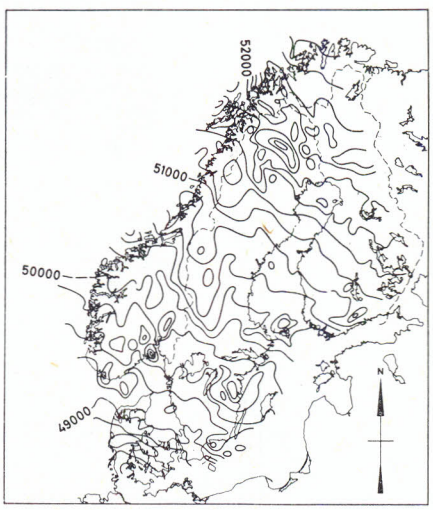


Fig. 2 Magnetisk totalfelt Skandinavia

* Cand. real. Inge Aalstad er direktør ved Geofysisk avdeling, Norges geologiske undersøkelse, Trondheim.

Artikkelen er utdrag av et foredrag holdt ved Fysikermøtet i Tromsø juni 1972.

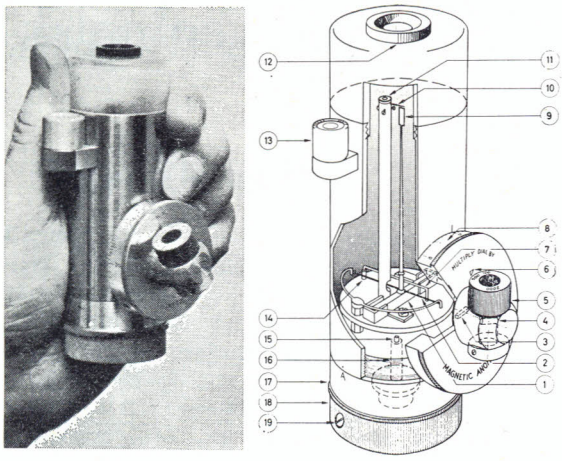


Fig. 3 Magnetometer konstruert og fremstilt ved NGU

Selve målingen av feltstyrken ble tidligere foretatt med magnetometere som ble oppstilt på bakken. For detaljert magnetisk kartlegging av malmforekomster blir dette fortsatt gjort, enkelte ganger med punkttetthet helt ned til 5 meter. På fig. 3 er vist et enkelt magnetometer til slikt bruk. Det er konstruert av siv.ing. Arne Breen ved Norges geologiske undersøkelse (NGU) i Trondheim og blir produsert ved institusjonens eget verksted. Foruten å dekke behovet innenlands, har det vært så vellykket at det er solgt i et antall av noen hundre også utenlands under navnet «Minimag». Ved hjelp av en målemagnet horisontalt opphengt i en torsjonstråd og en dreibar kompensasjonsmagnet måler det den magnetiske feltstyrkes vertikale komponent med en nøyaktighet bedre enn 50 gamma eller altså bedre enn en promille av normalfeltet.

Først etter at det omkring 1940 ble utviklet kontinuerlig registrerende magnetometre som kunne benyttes på en bevegelig plattform, f. eks. fly, kom det for alvor i gang magnetisk kartlegging i stor stil. Det var i første omgang «flux-gate» magnetometre som ble benyttet, mens det nå vesentlig anvendes instrumenter som bygger på måling av protonspinn. Ved begge typer oppnår man en målenøyaktighet bedre enn 0.5 gamma, som igjen svarer til 1/100 000 av normalfeltet.

I Norge ble en systematisk magnetisk kartlegging fra fly startet av NGU i 1959, og hittil er ca. ¾ av vårt landareal dekket. Over de flatere deler av landet (Sørlandet, Østlandet, Trøndelag og Finnmark) har flyhøyden vært 150 meter over bakken og profilavstanden 500 meter. På Vestlandet og i Nordland og Troms har så vel flyhøyde som profilavstand vært vesentlig større på grunn av de vanskelige terrengforhold.

I flyet blir så vel magnetfeltets styrke som høyden over bakken kontinuerlig registrert på

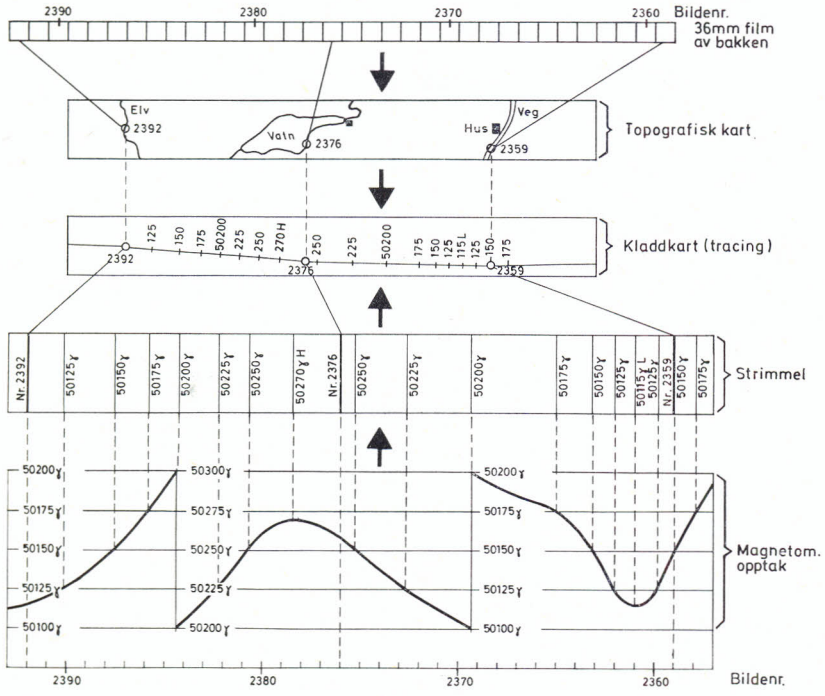


Fig. 4 Bearbeiding av flymagnetiske data

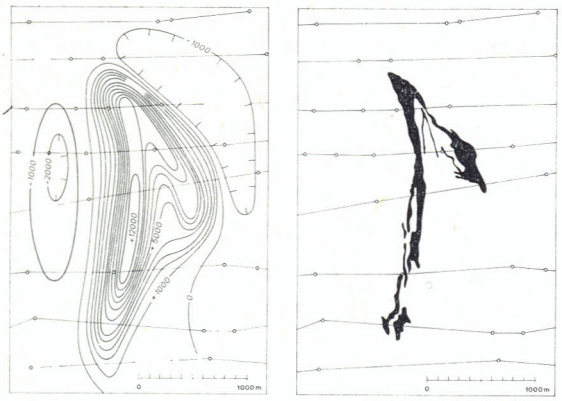


Fig. 5 Jernmalmforekomst ved Bjørnevann. Til høyre omriss av malm. Til venstre magnetisk anomalikart, flyhøyde 150 meter.

en analogskriver. Samtidig blir terrenget under flyet fotografert med smalfilmkamera slik at profilet senere kan plottes nøyaktig inn på kart. Over havområder benyttes Decca navigasjon. Vanligvis blir også alle data samtidig registrert digitalt på magnetbånd. På fig. 4 er skjematisk vist gangen i bearbeidelsen fra opptak og frem til magnetiske verdier riktig plassert på et kart. På grunnlag av disse verdier tegnes det så magnetiske kotekart. Eksempler på slike kart er vist på fig. 5 og 6.

Undersøkelser av de magnetiske egenskaper til de bergartsdannende mineraler viser at mineralet magnetitt (Fe_3O_4) klart skiller seg ut med susceptibilitet som er langt større enn noe annet vanlig forekommende mineral. Praktisk talt alle magnetiske anomalier skyldes derfor magnetitt, og et magnetisk anomalikart kan sies å være et kart som viser fordelingen av mineralet magnetitt i undergrunnen. Magnetiske målinger kan derfor direkte benyttes til å påvise og kartlegge jernmalmforekomster av magnetitt. Et eksempel på dette er vist på fig. 5. Til høyre på figuren er vist omrisset av Bjørnevannsmalmen ved Kirkenes, den store jernmalmforekomst som A/S Sydvaranger for tiden driver på. Til venstre på figuren er vist et utsnitt av et magnetisk kart over området, som NGU laget etter målinger fra fly i 1959 med 500 meters profilavstand og flyhøyde 150 meter over bakken. Vi ser at det over denne kjente forekomst kom frem en anomali på opptil 12 000 gamma, som er økning på ca. 25 % av normalfeltet. Den positive anomali gjengir også meget pent malmens form.

Magnetiske målinger har imidlertid fått en betydning langt ut over det å finne eller undersøke jernmalmer. Magnetitt finnes nemlig i små mengder som et vanlig, men underordnet mineral, i mange bergarter. Fordelingen av magnetitt har sin årsak i geologiske prosesser og vil derfor avspeile geologiske formasjoner og strukturer. Magnetitten har samtidig så høy susceptibilitet at en variasjon på 1 % i magnetittinnhold fra en bergart til en annen kan gi anomalier av størrelsesorden 1000 gamma. Når vi

Fig. 6 Utsnitt av aeromagnetisk kartblad Arendal.

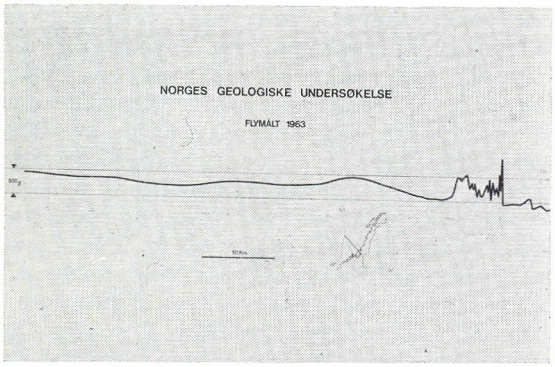


Fig. 7 Magnetisk profil fra Trøndelag og ut over sokkelen.

sammenholder dette med en mulig målenøyaktighet bedre enn 1 gamma, er det klart at magnetometret er et meget fintfølende verktøy for geoligisk kartlegging.

Som et eksempel på hvordan et magnetisk kart kan gjengi geologiske trekk er på fig. 6 vist et utsnitt av det aeromagnetiske kartblad Arendal. Den sirkulære positive anomali midt på figuren viser seg nøyaktig å tilsvare den geologisk vel kjente Herefossgranitten som inneholder et par % magnetitt. Det er uten videre klart at i et geologisk ukjent område vil en magnetisk kartlegging være et godt hjelpemiddel til å fastlegge grensene for slike magnetiske bergarter.

En annen viktig anvendelse av magnetometri er som hjelpemiddel for en 3 dimensjonal geologisk kartlegging, ved at man bestemmer dypet ned til toppen av magnetiske legemer som ikke kommer opp til overflaten. Det viser seg nemlig å være en sammenheng mellom anomalikurvenes form og dypet til det magnetiske legeme, idet små dyp gir skarpe smale anomalier, store dyp gir slake brede anomalier. I praksis måler man ut de horisontale avstander mellom visse karakteristiske punkter på anomalikurvene. Dypet finnes så som forholdsvis enkle funksjoner av disse avstander.

Nettopp dette å bestemme dyp ned til magnetiske bergarter er det som gjør magnetometri til et viktig hjelpemiddel ved leting etter

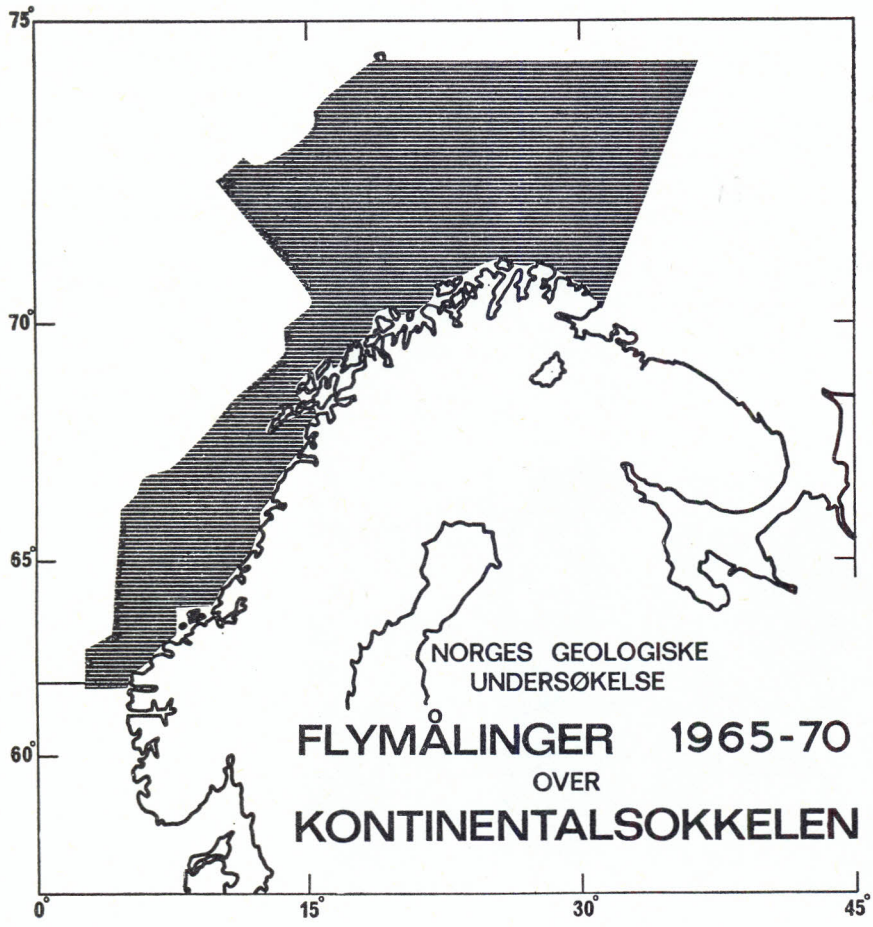


Fig. 8. Område på kontinentalsokkelen som er kartlagt magnetisk.

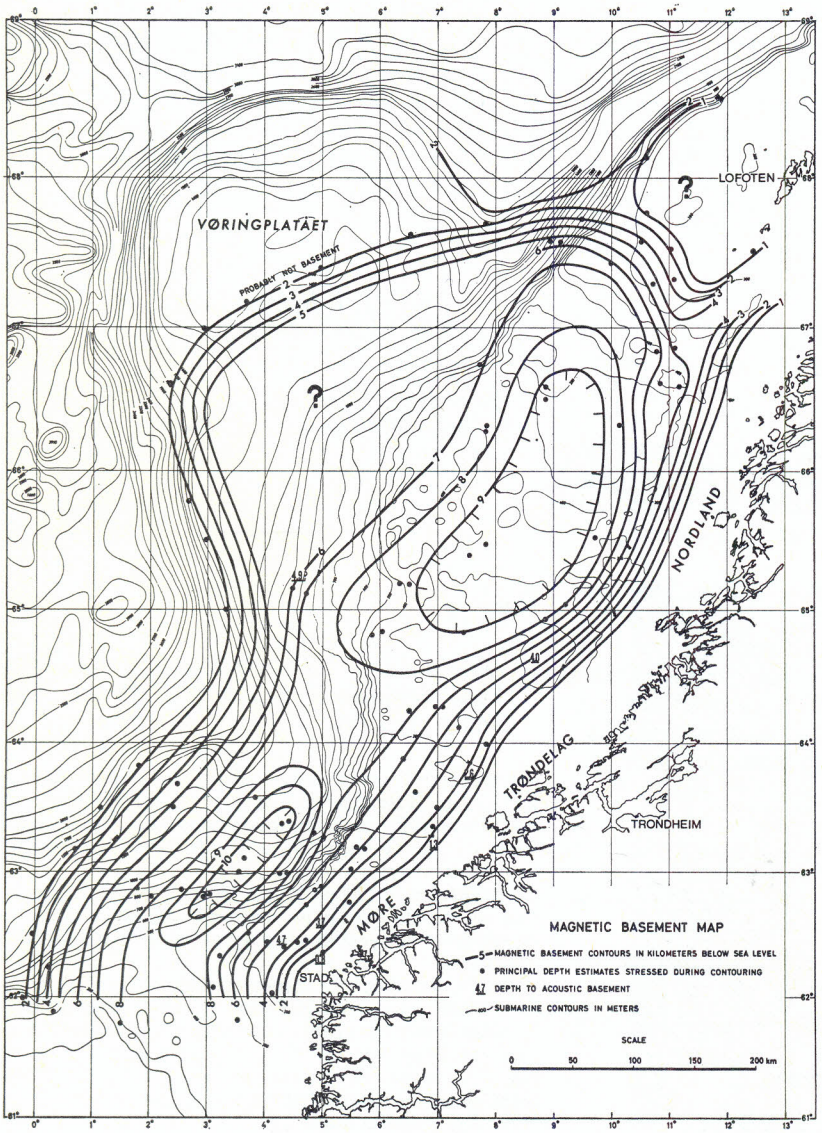


Fig. 9 Dyp til grunnfjell, Stad – Lofoten.

forekomster av petroleum (olje og gass). Man vet ennå svært lite om hvorfor og hvordan slike forekomster dannes, men det synes å være en absolutt forutsetning at man har uomvandlede sedimentære bergarter til stede. Like sikkert er det at slike bergarter er praktisk talt umagnetiske, mens det underliggende krystallinske grunnfjell som sedimentene er avsatt på, gjerne inneholder magnetiske soner som gir grunnlag for dypbestemmelser. Disse dyp vil da samtidig gi opplysninger om de umagnetiske sedimenters mektighet. En slik magnetisk kartlegging av sedimentmektigheter kan utføres hurtig og relativt rimelig fra fly og inngår derfor som et naturlig første ledd i ethvert oljeprosjekteringsprogram. Spesielt viktig er slike undersøkelser i områder som er dekket av hav, slik som kontinentalsokkelområder.

NGU startet magnetiske målinger over havområdene utenfor vår kyst med målinger over Skagerak i 1962. På grunnlag av målingene har vi kunnet kartlegge hvordan de krystalline, magnetiske grunnfjellsbergarter i Syd-Norge fortsetter ut under havet og etter hvert blir overlagret av umagnetiske sedimentære bergarter slik som de alt tidligere var kjent i Danmark.

Atskillig mer spennende var det da vi, som et forsøk, i 1963 målte noen få profiler over den midtnorske sokkel som strekker seg ca. 250 km vestover fra Trøndelag- og Helgelandskys-

ten. Resultatet fra et av disse profiler er vist på fig. 7, og vi ser at anomalibildet skifter fullstendig karakter like utenfor kysten, fra skarpe anomalier over land til meget slake brede anomalier over sokkelen. Dette var en klar indikasjon på at sokkelen bestod av meget tykke umagnetiske lag over det krystalline grunnfjell, lag om kunne være oljeførende sedimenter. Systematiske målinger over sokkelen kom i gang i 1965, og fig. 8 viser det som er dekket hittil, det er i alt målt ca. 120 000 km profil. På fig. 9 er vist den tolkning som er laget for området Stad–Lofoten. Den viser at vi i dette område har et basseng med sedimenttykkelse på opptil 9–10 000 meter.

---

forts. fra s. 75

av dem kan være ganske intrikate. Så personlig ville jeg ha forberedt meg vel før jeg satte i gang noen eksaminasjon. I tilknytning til eksamen blir det også levert inn en hovedoppgave som blir utarbeidet i løpet av 14 dagers tid. Jeg leste igjennom en 5–6 stykker. De oppgavene som hadde fått toppkarakter, ga et litt for solid inntrykk. Det spørs om ikke læreren har vært for meget inni bildet.

La oss se på et par negative ting. Den moderne matematikken har også gjort sitt inntog i England. (Resultatet kan man lese om i de siste nummerne av Physics Teacher og Physics Education). Det har ført til at elevene ikke kan integrere, slik at de må løse elementære differensialligninger i fysikken grafisk. Det er vel og bra som et eksempel, men når man skal ta flere eksempler sluker det masse tid.

Gjennomføringen av Nuffield-prosjektet koster en masse penger. Og etter uttalelser fra lærere i andre fag, er det ikke tvil om at dette har skjedd på bekostning av disse.

Arrangementet av kurset var utmerket og foreleserne var førsteklasses, så et lignende kurs ved Worcester College of Education kan trygt anbefales.

Nye medlemmer opptatt på styremøtet 29/10 1973

Lab. ing. R. J. Armstrong.
Nordlysobservatoriet,
Tromsø

Cand. real. K. M. Asbøll.
Inst. for fysikalsk metallurgi,
NTH,
Trondheim.

Cand. real. P. J. Johnsen.
Fysisk institutt,
Universitetet i Oslo,
Blindern.

Dr. F. Ravndal.
Dept. of Physics,
Caltech.,
Pasadena, California.

Studieveileder J. Tidemand Ruud.
Mat. Nat. fak. sekretariat,
Blindern.

Cand. real. J. O. Sletnes.
Wilhelm Wilhelmsensvei 12 c,
1347 Hosle.

Bøker

A. Rubinowicz: Sommerfeldsche Polynommethode. Springer Verlag, 1972, 278 sider innbundet, pris DM 56.

Sommerfeld utviklet sin såkalte polynommetode til løsning av differensialligninger med spesiell tanke på egenverdiproblemer i kvantematikken, og de fleste fysikere vil kjenne metoden, f.eks. fra løsningen av harmonisk oscillator problemet.

Forfatteren av denne boken har selv bidratt til utvikling og generalisering av metoden, og presenterer her en systematisk oversikt over denne og dens anvendelsesmuligheter.

Polynommetoden er meget effektiv til løsning av en stor klasse egenverdiproblemer. I boken demonstreres hvordan løsningen av de med metoden løsbare problemer kan uttrykkes ved hjelp av Riemannske P-funksjoner eller konfluente slike, etter at passende variabeltransformasjoner er utført. For en viss klasse egenverdiproblemer kan kriterier angis som straks avgjør om problemet er løsbart eller ikke ved hjelp av metoden, men slike løsbarhetskriterier finnes ikke generelt.

I boken drøftes også Schrødinger og Infelds faktoriseringsmetode, og det vises at denne har mindre anvendelsesområde enn polynommetoden. Det angis en rekke eksempler og tabeller over kjente problemer med løsninger, og også en del beslektede to-parameter egenverdiproblemer diskuteres.

Boken er kanskje vel omfattende for den som bare trenger en introduksjon til polynommetoden for de vanlige kjente anvendelsene, men den er utvilsomt verdifull som hjelpemiddetl for den som i større utstrekning arbeider med egenverdiproblemer.

Med denne boken er Springer forlag kommet til bind nr. 185 i serien, Die Grundlehren der mathematischen Wissenschaften im Einzeldarstellungen, og forlaget har bygd opp et imponerende bibliotek i anvendt matematikk.

Kjell Mork

Eksploderende molekyler

Aadne Ore

I en tidligere artikkel [1] beskrev forfatteren det han kalte «elektronsprutende atomer», og diskuterte de prosesser som ligger til grunn for dette eiendommelige fenomen. Den plutselige utsendelse av elektroner er et utslag av atomets lynrappe, sprangvise reaksjon på en instabilitet oppstått i form av et «hull» (ledig elektronplass) produsert i et av atomets innerste elektronskall. Reaksjonen omfatter en kortere eller lengre serie elektronhopp innover, og hver gang et slikt hopp skjer som en del av en Augerprosess, farer samtidig et elektron ut av atomet. Det foregår, med andre ord, en serie hullforflytninger utover i atomet, og samtidig øker hullenes antall. Sluttproduktet blir et atom som mangler et større eller mindre antall elektroner i de ytterste skall. Er atomnummeret (Z) relativt stort, kan atomet gi fra seg ti-tyve elektroner på denne måten. Det ion man ender opp med, kan derfor være usedvanlig kraftig, positivt ladd.

En slik aktivitet i et *isolert atom* er imponerende nok, men kan ikke måle seg med den man kan sette i gang ved å fjerne et indre elektron fra et (relativt tungt) atom som er en del av et *molekyl*.

Spørsmålet om hva som vil skje i det molekylære tilfelle, kan bare eksperimentelle observasjoner og målinger gi et noenlunde detaljert svar på. Fra en teoretikers synspunkt er problemet uhyre komplisert, i det minste for molekyler som hvert består av tre eller enda flere atomer. Noe kan man dog forutsi med stor sikkerhet, og mer kan man resonnere seg til som muligheter for hva som vil skje. For det første kan vi være sikre på at sluttresultatet kan bli så ymse, selv om molekyl, atom og skallet med det opprinnelige hull er gitt. Den sammensatte «stabiliseringsprosess» som vil være molekylets reaksjon på dannelsen av dette hull, kan følge et utall av forskjellige veier i det molekylære tilfelle som i det atomære [1]. Vi kan også regne med, at den innledende serie elektronhopp med eller uten elektronemisjon, stort sett vil foregå i vedkommende atom og som om atomet hadde vært fritt. I de bånd som knytter atomet til resten av molekylet, er det bare de ytterste elektroner, valenselektronene, som inngår. Bindingen vil derfor på det nærmeste være uten betydning for elektronene i de innenforliggende skall og for det som vil foregå der. Komplikasjonene melder seg etterhvert som hullene nærmer seg valensskallet og øker i antall. For det første kan elektroner som de ulike atomer har avgitt til båndene, komme på tale som Augerelektroner, og for det andre vil atomet med hullene virke sterkt tiltrekkende på elektroner i naboatomer. Det er derfor å vente, at opprinnelige bindinger i molekylet svekkes, og det kan tenkes at de endog går over til å bli kraftig frastøtning mellom positive ioner.

Eksperimenter på diverse fleratomig molekyler bekrefter til overmål at følgen av at et indre elektron fjernes fra et atom i et molekyl, kan være en så radikal forandring i molekylets struktur som nettopp antydet. I løpet av et øyeblikk kan det opprinnelige molekyl være forandret til en samling positive ioner, og dermed eksploderer det hele som følge av den kraftige, elektrostatiske (coulombske) frastøtning mellom ionene.

En viss forestilling om det som foregår, fikk man allerede for vel 30 år siden da man konstaterte at et radioaktivt atom der et elektron frigis f.eks. fra K-skallet ved indre konversjon, kan skille lag med resten av molekylet (en form for såkalt Szilard-Chalmers-effekt). At dette fenomen lot seg forklare på den måten vi har antydet, ble man fort klar over [2, 3].

De mest detaljerte undersøkelser av hva resultatet kan bli om et indre elektron fjernes fra et atom i et molekyl, er utført av T. A. Carlson og R. M. White ved Oak Ridge National Laboratory [4, 5, 6]. De tok for seg en del molekylsorter der hvert molekyl inneholder ett atom med ganske høyt atomnummer (jod, $Z = 53$ eller bly, $Z = 82$), men for øvrig bare lette atomer (hydrogen, $Z = 1$ og karbon, $Z = 6$). Den røntgenstråling de utsatte molekylene for, ville da ha som praktisk talt eneste primære virkning at et «hull» ble produsert i et indre skall i det tunge atomet. Molekylene ble bestrålt som damp under meget lavt trykk, ca. 10^{-5} torr. Det enkelte molekyls reaksjon på et slikt hull ville da forløpe uforstyrret av nabomolekylene.

I sine første studier [4, 5] konsentrerte Carlson og White seg om metyljodidmolekylet, CH_3I, som er skjematisk fremstilt i Fig. 1(a). Ved røntgenbestråling skaffet de seg molekyler med et hull i L-skallet. De to første kolonner

i Tabell I viser hvilke typer ladde sluttprodukter de observerte, og den hyppighet disse ionene opptrådte med relativt til hyppigheten av I^{5+}. (Verdien 0,10 for I^{9+} inkluderer et mindre bidrag fra CH_2^+. Disse to ionetyper har nær samme forhold mellom ladning og masse, og lot seg derfor ikke adskille med massespektrografens magnetiske analysator. For øvrig varierer usikkerheten i verdiene fra et par prosent for de hyppigste ioner til omkring tyve for de ionetyper som sjelden ble dannet.)

Av denne del av Tabell I fremgår det, at de prosesser som utløses når et indre elektron fjernes fra jodatomet i CH_3I, fører til dannelse av ladde molekylfragmenter som nesten alle vil være *atomioner*. Derav kan man ikke uten videre trekke den konklusjon, at samtlige opprinnelige bånd mellom atomene i molekylet som regel vil briste. Spektrometret registrerte nemlig bare de ladde sluttproduktene, og ikke eventuelle nøytrale fragmenter som kunne tenkes bestå av to eller flere sammenbundne atomer. Paradoksalt nok viser de observerte relative hyppigheter av ladde fragmenter, at nøytrale fragmenter høyst sannsynlig er sjeldne. Ut fra tallene i tabellen verifiserer man lett, at C–, H– og I-atomene i samlingen av ladde fragmenter opptrer (meget nær) i mengdeforholdet 1:3:1, dvs. nettopp som i de opprinnelige CH_3I-molekylene selv. Dette innebærer, at enten er nøytrale fragmenter meget sjeldne, eller så må de tre atomsortene opptre i samme mengdeforhold også i samlingen av slike fragmenter, hvilket er usannsynlig. Fragmentene stammer nemlig fra et molekyl som på forhånd har mistet elektroner, og et nøytralt fragment kan da ikke dannes uten at det samtidig dannes minst ett ladd fragment. Konklusjonen blir, at som regel vil det opprinelige CH_3I-molekylet være omdannet til fem positive atomioner et øyeblikk etter at det indre elektron ble fjernet fra I-atomet.

Tabell I: Ladde fragmenter av opprinnelige CH_3I-molekyler, fragmentenes relative hyppighet og rekylenergier (i elektronvolt).

Ionetype	Relativ hyppighet	Rekyl-energi (eV)
I^{1+}	0,23	–
I^{2+}	0,42	2,3
I^{3+}	0,60	5,1
I^{4+}	0,81	6,6
I^{5+}	1,00	8,9
I^{6+}	0,62	11,4
I^{7+}	0,49	16
I^{8+}	0,23	20
I^{9+}	0,10	41
I^{10+}	0,03	–
I^{11+}	0,007	–
C^{1+}	1,12	13
C^{2+}	2,08	40
C^{3+}	1,13	73
C^{4+}	0,10	192
H^+	13,4	34
CH_3^+	0,03	–
CH^+	0,03	–

Med hyppighetene av de ulike ioner lagt til grunn, blir det hyppigste reaksjonsforløp:

$$CH_3I + h\nu \rightarrow C^{2+} + 3H^+ + I^{5+} + 10e^-, \quad (1)$$

der $h\nu$ står for røntgenkvantet som slår løs et indre elektron fra I-atomet, mens e^- symboliserer et frigjort elektron. Hadde jodatomet vært

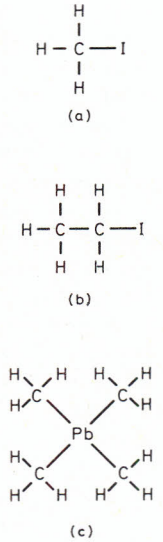


Fig. 1. Molekylstruktur skissert for (a): metyljodid, CH_3I, (b): etyljodid, C_2H_5I og (c): tetrametylbly, $Pb(CH_3)_4$.

fritt, ville derimot den mest sannsynlige reaksjon vært:

$$I + h\nu \rightarrow I^{8+} + 8e^{-}, \qquad (2)$$

for jod og xenon (Z = 54) er nærmeste naboer i Det periodiske system, og bestråling av den énatomige xenondamp med samme sort røntgenkvanter ga Xe^{8+} som hyppigste sluttprodukt. Vi ser at det vanlige vil være, at I-atomet kommer ut med et mindre elektrontap når det opprinnelig var bundet til metylgruppen, men ikke desto mindre vil det totale elektrontap da gjerne være størst. En rimelig forklaring på dette er følgende: I det molekylære tilfelle vil enkelte av de hullene som oppstår i I-atomet, fylles av elektroner fra resten av molekylet, og i noen tilfelle vil dette skje med samtidig utsendelse av et Augerelektron.

Den samling på fem atomioner som CH_3I-molekylet som regel omdannes til, vil ventelig være temmelig eksplosiv. Ionenes ladning er delvis et resultat av elektronforskyvning atomene imellom, og før den er avsluttet, kan i hvert fall ikke alle ionene ha skilt lag. Med fem positive ioner i et volum av molekylets størrelse, må frastøtningen mellom dem bli ganske kraftig. Siden deres samlede ladning, så vel som ladningen på karbon- og jodionene, kan anta forskjellige verdier, vil man for hver ionetype finne et *spektrum* av «rekylenergier». Carlson og White kunne bestemme spektrene for de fleste av ionetypene. I tredje kolonne i Tabell I er ført opp rekylenergiene som svarer til spektralkurvens maksimum, altså hyppigst opptredende rekylenergi, om man vil, for hver ionetype.

Energiene i tabellen er bemerkelsesverdige sett fra en kjemikers synspunkt, for de er 100-10000 ganger større enn molekylers vanlige translasjonsenergi. For øvrig er rekylenergien av omtrent den størrelse man vil vente for en «coulombsk eksplosjon» med ionene i atomenes posisjoner i det opprinnelige CH_3I-molekyl, i eksplosjonsøyeblikket. Det er dog å vente, at i det minste noen av H^+-ionene får anledning til å bevege seg en smule bort fra resten av molekylet, mens de avsluttende Augerprosesser foregår der. En tilnærmet beregning av rekylenergier bekreftet dette

Etter denne forholdsvis detaljerte presentasjon av tilfellet CH_3I skal vi nøye oss med en mer summarisk omtale av resultatene for to større molekyler [6]. Det første er etyljodidmolekylet, C_2H_5I, skjematisk fremstilt i Fig. 1 (b). Der er metylgruppen CH_3 lenger borte fra I-atomet, molekylets urosentrum etter fotoionisasjonen i L-skallet, og det kunne derfor tenkes at den ville komme relativt uskadd fra det hele. Resultatene viste noe annet. Også C_2H_5I vil som regel spaltes fullstendig og bli en eksploderende samling atomioner. Imidlertid vil reaksjonsmønstret være:

$$C_2H_5I + h\nu \rightarrow$$
$$C^+ + C^{2+} + 5H^+ + I^{3+} + 11e^{-}. \qquad (3)$$

Sammenligning med lign. (1) viser, at det økede antall C- og H-atomer i molekylet gjør at det samlede elektrontap gjennomgående blir noe større, mens I-atomet samtidig i øket grad får kompensert sitt eget elektrontap. Hva C-atomene i C_2H_5I angår, ville man vente, at det av dem som er I-atomets nærmeste nabo, som regel vil lide det største elektrontap. Ved å erstatte de to H-atomene ved dette atom med deuteriumatomer og bestemme rekylenergier, kom Carlson og White imidlertid til, at det ikke var noen tendens for nevnte C-atom til å miste flere elektroner enn det C-atom som er lengst vekk fra I-atomet.

Et enda større molekyl er tetrametylbly-molekylet, $Pb(CH_3)_4$, sammensatt av 17 atomer. Det er skjematisk fremstilt i Fig. 1 (c). Ved røntgenbestrålingen ble i dette tilfelle det opprinnelige hull produsert dels i L-skallet, dels i M-skallet i blyatomet. Følgen viste seg å være et forbløffende stort elektrontap, i middel på 18-19 elektroner pr. molekyl. For frie blyatomer ville det midlere elektrontap pr. atom vært snautt halvparten så stort. (Hg, Z = 80, bestrålt som damp og med samme røntgenstråling, ga 8,5 som resultat.)

Også i dette tilfelle var det atomioner som dominerte blant fragmentene. Spørsmålet om det tunge atomions rekylenergi er spesielt interessant, for i $Pb(CH_3)_4$ er Pb-atomet et symetrisentrum, omgitt av tetrahedrisk fordelte metylgrupper. Er den positive ladning symmetrisk fordelt over molekylet i eksplosjonsøyeblikket, vil Pb-ionet bli liggende, men selv en liten asymmetri i ladningsfordelingen vil være tilstrekkelig til å gi også dette ionet en målbar rekyl. Målingene ga som resultat, at Pb-ionets rekylenergi som regel er minimal, med andre ord, at den positive ladning stort sett er symmetrisk fordelt over molekylet i det øyeblikk ionesamlingen eksploderer.

— — —

Det er nærliggende å spørre, om «elektronsprutende atomer» og «eksploderende molekyler» — om enn aldri så interessante — er mer enn vitenskapelige kuriositeter. Det er de nok, for

fenomenene kan utløses av ioniserende stråling, og ioniserende stråling er så vel en del av naturen, som et medisinsk og teknisk hjelpemiddel. Når den mulige betydning av fenomenene skal vurderes, må man ikke overse de utsendte elektronene selv. I vanlig stoff kan de i høy grad bidra til å skape en kraftig forstyrrelse i det atomære eller molekylære urosentrums umiddelbare omgivelser. Flere stråleforskere har vært opptatt av spørsmålet om hvilken rolle indreskall-ionisasjon kan spille. Det ville føre for langt å gå inn på deres arbeider her, men det foreligger enkelte oversiktsartikler [7, 8] der de er diskutert.

Henvisninger

[1] Aa. Ore, Fra Fysikkens Verden *35,* 30 (1973).

[2] E. P. Cooper, Phys. Rev. *61,* 1 (1942).

[3] D. DeVault & W. F. Libby, J. Am. Chem. Soc. *63,* 3216 (1941).

[4] T. A. Carlson & R. M. White, Proc. Symp. Chem. Effects of Nuclear Transformations, Vol. I, p. 25. IAEA, Wien, 1965.

[5] T. A. Carlson & R. M. White, J. Chem. Phys. *44,* 4510 (1966).

[6] T. A. Carlson & R. M. White, J. Chem. Phys. *48,* 5191 (1968).

[7] Aa. Ore, Radiation Research 1966 (Ed.: G. Silini), p. 54. North-Holland Publ. Co., Amsterdam 1967.

[8] Aa. Ore, Proc. 10th Czechoslovak Ann. Meeting Radiation Chem., Vol. I, p. 91. Inst. Nuclear Research, Rez, 1971.

Konferanser organisert av Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.

Hamburg,
20—22 February
Conference on Particle Physics
Informasjon: Dr. I. Dammann, Deutsches Electronen Synchroton, D-2 Hamburg 52, Notkestieg 1. Tel. 040/896981, Telex: 215124

Bochum,
4—8 March
Conference on Nuclear Physics
Informasjon: Prof. Dr. D. Kamke, Inst. f. Exp. Physik der Universität, D-463 Bochum, Postfach 2148, Tel. 02321/713561

Stuttgart,
4—9 March
Conference on Atomic and Molecular Physics, High Speed and Plasma Physics, Quantum Optics
a) Atomic Physics
b) Molecular Physics
c) High Speed Physics
d) Plasma Physics
e) Quantum Optics
Informasjon: N. N.

Garching,
6—8 March
Conference on Space Physics (Joint Meeting with the Deutche Astronomische Gesellschaft)
Informasjon: Dr. D. Hovestadt, MPI f. Extraterrestrische Physik, D-8046 Garching, Institutsgelände. Tel. 089/3699817

Würzburg,
18—23 March
Conference on High Polymer Physics
Informasjon: Dr. T. Nowak, Astronom. Inst. der Universität, D-87 Würzburg, Büttnerstr. 71. Tel. 0931/58824

Bad Nauheim,
25—27 March
Conference on Teaching of Physics
Informasjon: Prof. Dr. W. Kuhn, Seminar für Didaktik der Physik, D-63 Giessen, Karl-Glöckner-Str. 21.

Braunschweig,
26—28 March
Conference on Magnetism
Informasjon: Dr. U. Buchenau, Inst. A f. Physik der Techn. Hochschule, D-33 Braunschweig, Mendelssohnstr. 1, Tel. 0531/3912134

Freudenstadt,
1—6 April
Conference on Solid State Physics
a) Semiconductor Physics
b) High Frequency Physics
c) Metal Physics
d) Thermodynamics
e) Low Temperature Physics
Informasjon: Dr. H. Hinsch, Inst. f. Angew. Physik d. Universität, D-69 Heidelberg, Albert-Überle, Str. 3–5, Tel. 06221/43836

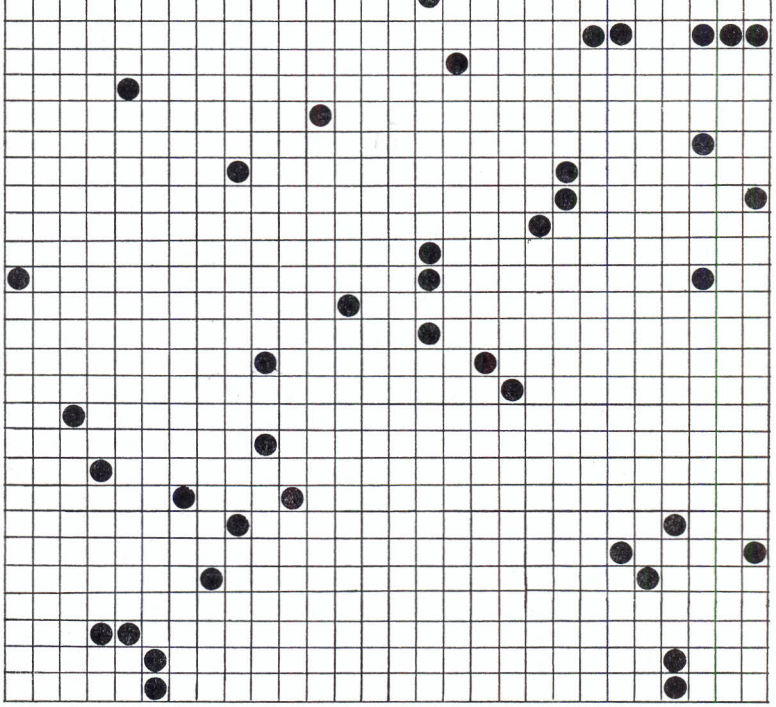
Presumably Frankfurt/M.,
May or June
Joint Meeting of DAG Vakuum, AK Elektronenmikroskopische Direktabbildung von Oberflächen and Dechema
a) DAG Vakuum (Vacuum)
b) DAGV Ausschuß Oberflächenphysik (Surface Physics)
c) Elektronenmikroskopie (Electron Microscopy)
d) Dechema (no topic fixed till 1. October 1973)
Informasjon: Dechema, D-6 Frankfurt/M. 97, Theodor Heuss-Allee 25, Tel. 0611/7564-243

Presumably Nürnberg,
23—27 September
General Meeting of the German Physical Society
Informasjon: Dr. W. Heinicke, General Secretariat of DPG, D-53 Bonn-Bad Godesberg, Gotenstrasse 1–3, Tel. 02221/356688

Husk kontingenten!

Årsregister kommer i neste hefte.

PRODUCTS, INC.)
DAWE INSTRUMENTS LTD.
DISPLAYTEK CORPORATION
D. OLIVETTI
GUILDLINE INSTRUMENTS LTD.
HIAC (HIGH ACCURACY PRODUCTS)
ITHACO, INC.
KULITE SEMICONDUCTOR
LOGIMETRICS, INC.
MFE CORPORATION
MONSANTO ELECTRONICS
MONTFORD INSTRUMENTS LTD.
OY NOKIA AB ELEKTRONIK
NUCLEAR DATA INC.
OHIO-NUCLEAR INC.
PEMTEK INC.
REACTOR EXPERIMENTS
SANDERS DATA SYSTEMS INC.
SATT ELEKTRONIK AB
SERVO CORPORATION OF AMERICA
SPECTRAL DYNAMICS CORPORATION
THETA INSTRUMENT CORPORATION
TIDELAND SIGNAL CORPORATION
VIDAR CORPORATION
WAVETEK
WILTRON COMPANY



HUGO RISØ A/S

Teknisk Import

RISØ

Postboks 8 Tåsen, Oslo 8
(Langmyrgrenda 1, Oslo 8)

Telefon: 23 25 80 - Telegrammer: HUGOTEST
Bankgiro: 7082.05.00227. Bank: Den norske Creditbank
Telex: 18 216

Fra Fysikkens Verden

Redaktør:
Professor dr. techn. Haakon Olsen, Universitetet i Trondheim, Norges lærerhøgskole.
Redaksjonskomité:
Lektor K. Jostein Knutsen
Luftkrigsskolen, Trondheim.
Universitetslektor Wilhelm Løchstøer,
Universitetet i Oslo, Blindern.
Forsker, cand. real. Olav Steinsvoll,
Institutt for Atomenergi, Kjeller.
Dosent Leif Owren, Ph.D., Univ. i Bergen.
Dr. techn. Helge Øverås, CERN Genève.

Norsk Fysisk Selskap

Formann: Dr. philos. Tormod Riste, Inst. for Atomenergi, Kjeller.

Styre: Professor dr. philos. Arnfinn Graue,
Universitetet i Bergen.
Amanuensis Gunnar J. Kvifte, Universitetet i Tromsø.
Dosent dr. philos. Thormod Henriksen,
Universitetet i Oslo, Blindern.
Dosent Ivar Svare, Ph.D., Universitetet i Trondheim,
Norges tekniske høgskole.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett, Nøytronfysikkavdelingen,
Institutt for Atomenergi, Boks 40, 2007 Kjeller.

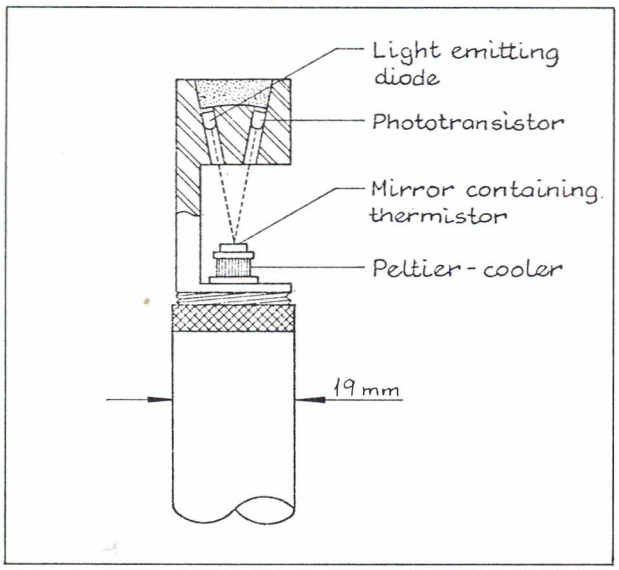
Postgirokonto: 88388 Bankgirokonto: 5102.20.16001

Teknisk medarbeider og annonsetjeneste:
Lab.ing. Halvard Torgersen, Universitetet i Trondheim, Norges tekniske høgskole.

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 15,00. Årsabonnement for studenter og skoleelever kr. 10,00.

Sekretær: Gudrun Græsmann.
Ekspedisjonens adresse: Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt, Universitetet i Trondheim,
Norges lærerhøgskole,
7000 Trondheim.

Postgirokonto: 10472 Bankgirokonto: 8601 236545



Picture shows principle of Dew-point Sensor 2211. This sensor, designed for use at automatic weather stations, measures dew-point temperature of air accurately.

RECORDING CURRENT METERS
for ocean currents down to 5000 meters depth.

TEMPERATURE PROFILE RECORDERS
for recording vertical temperature profiles in the sea.

CLIMATOLOGICAL RECORDING STATIONS
Land-based or mounted on buoys.

TAPE READERS for reading magnetic tape from the above instruments.

IVAR AANDERAA
MANUFACTURER OF DATA COLLECTING INSTRUMENTS

HARDANGERVEIEN 2
5050 NESTTUN
NORWAY
TELEPHONE: BERGEN 27 23 14
CABLE: HELICON

Aktietrykkeriet i Trondhjem