Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Stimulert emisjon og dennes anvendelse i Lasere 45

Hva er reaktorfysikk 51

John Dalton 54

Nork fysisk forskning
Hva vil vi -
Hva bør vi -
Hva har vi - 56

Sam Eyde og historien om de nitrogenholdige stoffer 63

Bøker 66

Sam Eyde

Nr. 3 - 1966
28. årgang

STEDET FOR

ELEKTRONISKE INSTRUMENTER OG

KOMPONENTER TIL

INDUSTRI, OG

FORSKNING

VÅR TELEFON ER

Vi leverer bl. a. fra følgende amerikanske og europeiske forbindelser:

Consolidated Electrodynamics Corporation	Registrerende instrumenter, papir og tape, transducere, spektrometere m. m.
Disa Elektronik A/S	Industrifjernsyn og elektronisk måleutstyr for mekaniske forløp.
Fenwal Inc.	Termobrytere.
Hewlett Packard Company	Elektroniske måleinstrumenter, data akkvisisjonssystem.
George A. Philbrick Researches Inc.	Funksjonsforsterkere.
Rohde & Schwarz	Elektroniske måleinstrumenter, kommersielt utstyr.
Simpson Electric Company	Universalmåleinstrumenter.
Svenska A. B Oltronix	Stabiliserte likespenningskilder.
Tektronix Inc.	Oscilliscoper, pulsgeneratorer, monitorer.
Telequipment Ltd.	Oscilloscoper.
Texas Instruments	Halvledere og instrumenter.
Telonic Industries Inc.	Sweepgeneratorer.

MORGENSTIERNE & CO A/S

INGENIØRFIRMA

WESSELS GT. 6, OSLO. TELEFON 20 16 35

88

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Nr. 3 - 1966

Redaktør: HAAKON OLSEN

28. årgang

Stimulert emisjon og dennes anvendelse i Lasere

Svenn Lilledal Andersen

I 1964 fikk Townes, Básof og Prókorof Nobelprisen for sin anvendelse av stimulert emisjon, eller indusert emisjon som vi lærte at det het. De skapte begrepene maser og laser. Bokstavene står for «Microwave Amplification by Stimulated Emmission of Radiation». Her bytter vi ut «Microwave» med «Light» og vi får «Laser».

Det finnes også en annen forklaring på ordet maser, nemlig: Means of Aquiring Support of Expensive Research». Hvilken en vil bruke avhenger av hvem en snakker med. Den siste utlegningen kan forstås på bakgrunn av at bare i U.S.A. arbeider flere enn 500 grupper med utvikling av masere og lasere. Det er også klart at det er store muligheter for industriell utnyttelse, og ikke minst militær utnyttelse av både masere og lasere.

Lasere er alle andre lyskilder overlegne når det gjelder alle de vesentlige egenskaper så som koherens, intensitet og parallell strålebunt. Det er forholdsvis enkelt å produsere effekter av størrelsesorden megawatt i en laserpuls, og åpningsvinkelen i strålebunten kan en få ned i buesekunder.

Vi må repetere litt fra teorien om stimulert emisjon for å få tak i virkemåten av laseren. Det blir da fort klart at det ikke er tilstrekkelig å kunne sin teoretiske fysikk, men at det vil kreves litt «snille» attåt for å få til en laser.

Stimulert emisjon i en likevektstilstand.

Begrepet stimulert emisjon ble innført av Einstein i et arbeid fra 1917.(1) For å få en brukbar beskrivelse av vekselvirkningen mellom stråling og materie, måtte han innføre en sannsynlighet for at et eksitert atom skal kunne deeksiteres ved påvirkning av ytre stråling. Et eksitert atom kan således kvitte seg med eksitasjonsenergien enten ved en spontan utsendelse, eller ved stimulert utsendelse av stråling.

Einstein ser på et ensemble av atomer som er i likevekt med varmestrålingen. Det stilles ingen andre krav til dem enn at de skal ha bestemte energitilstander, og at de må være i stand til å absorbere og emittere lys etter Bohrs frekvens lov:

$$E_2 - E_1 = \hbar\omega_{12}$$

der $\omega_{12} = 2\pi\nu$, frekvensen av lyskvantene.

Vi plukker ut to energitilstander E_1 og E_2, (fig. 1) der populasjonen i de to tilstandene er n_1 og n_2 henholdsvis. Det vil si at n_2 atomer er i tilstanden E_2 og n_1 er i tilstanden E_1. Vi ser her bort fra eventuelle degenerasjoner av nivåene E_1 og E_2. Resultatene vil bare atskille

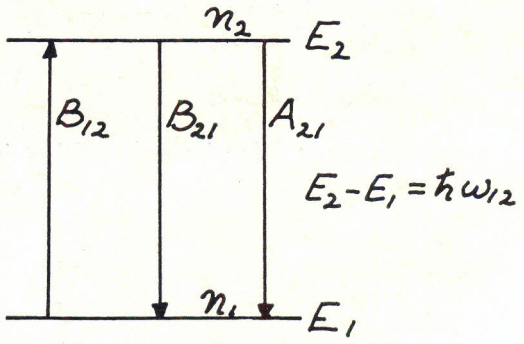


Fig. 1. Overganger mellom to energinivåer.

Dr.philos Svenn Lilledal Andersen er universitetslektor ved Fysisk Institutt, Universitetet Oslo.

seg ved statistiske faktorer. Er nå systemet i termisk likevekt med strålingsfeltet vil populasjonen følge Boltzmanns lov:

$$n_2 = n_1 \cdot e^{-\hbar\omega_{12}/kT}$$

Einstein innførte sannsynlighetskoeffisienter for overgangene mellom nivåene 1 og 2: A_{21}, B_{21} og B_{12}. Her er A_{21} sannsynligheten for at et atom eller molekyl spontant skal gå over i den lavere tilstand, og antall spontane emisjoner for tidsenhet blir:

$$A_{21} \cdot n_2$$

Denne er uavhengig av strålingstettheten.

Antall absorpsjoner pr. tidsenhet blir:

$$B_{12} \cdot n_1 \cdot \varrho(\omega_{12})$$

der $\varrho(\omega_{12})$ er energitettheten av den innfallende stråling for frekvensen ω_{12}. Antall stimulerte emisjoner pr. tidsenhet på grunn av strålingsfeltet vil være:

$$B_{21} \cdot n_2 \cdot \varrho(\omega_{12})$$

Ved likevekt vil antall overganger den ene vei i gjennomsnitt være lik overgangene den annen vei:

$$B_{12} \cdot n_1 \cdot \varrho(\omega_{12}) = A_{21} \cdot n_2 + B_{21} \cdot n_2 \cdot \varrho(\omega_{12})$$

Setter vi inn Boltzmanns lov for fordelingen av n_1 og n_2 får vi relasjonen:

$$\varrho(\omega_{12}) = \frac{A_{21}}{B_{12} \cdot e^{\hbar\omega_{12}/kT} - B_{21}}$$

Konstantene A_{21}, B_{21} og B_{12} avhenger ikke av strålingstettheten og vi kan skrive uttrykket lik $\varrho(\omega)$, og sløyfe indeksene.

Dette uttrykket skal gi Plancks strålingslov:

$$\varrho(\omega) = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^3} \cdot \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}$$

Ved sammenlikning av disse to uttrykkene ser vi at: c er lyshastigheten.

$$B_{12} = B_{21} = B\,,\; A_{21} = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 c^3} \cdot B$$

Disse to likningene blir gjerne kalt Einsteins relasjoner. Det bør påpekes at slik B er brukt her vil $B = 2\pi B_{\text{Einstein}}$ siden vi skriver ω, og ikke bare frekvensen ν.

Med disse Einsteinske relasjonene er vi allerede fremme ved det grunnleggende prinsipp for forsterkning ved hjelp av stimulert emisjon, altså laser prinsippet.

Ser vi på likningen for overgangene og der setter de spontane emisjonene lik null, så får vi i likevektstilstanden like mange absorpsjoner som stimulerte emisjoner. Går vi nå ut over likevektstilstanden ved å øke n_2 over n_1 så får

$$n_2 > n_1$$

vi flere emisjoner enn absorpsjoner. Og det kan i sum oppfattes som en absorpsjon med negativt fortegn, hvilken betyr en forsterkning. Innfallende lys med frekvens som svarer til overgangsfrekvensen ω_{12} vil bli forsterket ved gjennomgang av en materie der det finnes flere atomer i tilstanden 2 enn i tilstanden 1.

Når n_2 er større enn n_1 kalles det en populasjonsinversjon. Men kan vi se bort fra den spontane emisjonen når vi opererer med optiske frekvenser?

La oss først ta et overslag over forholdet mellom stimulert og spontan emisjon ved termisk likevekt. Forholdet kan etter ovenstående likninger skrives:

$$R = \frac{A_{21}}{B_{21} \cdot \varrho(\omega_{12})} = e^{\hbar\omega_{12}/kT} - 1$$

Setter vi inn $\omega_{12} = 3.14.10^{15}\ s^{-1}$, hvilket svarer til en bølgelengde på 5500 Å, og T = 300 °K, så blir forholdet: R 10^{35}.

For optiske frekvenser og ved romtemperatur er den stimulerte emisjonen en helt forsvinnende del av den utsendte stråling. Det blir innlysende at vi må foreta noen virkelig drastiske inngrep for å få utsiktene for laservirkningen til å se lysere ut.

Vi kan skyte inn at i mikrobølgeområdet er forholdene vesentlig bedre, for T = 300 °K blir R 1 for en bølgelengde $\lambda = 6.10^{-3}$ cm. Det lå altså vesentlig nærmere å starte med masere.

Forutsetning for laservirkning.

Ifølge de Einsteinske relasjoner er det a priori en like stor sannsynlighet for absorpsjon at et kvant som stimulert emisjon av en kvant,

$$B_{21} = B_{12}$$

Har vi fått invertert populasjonen, vil det være mulig å få den stimulerte emisjonen til å dominere over absorpsjonen. Forutsetningen for at den stimulerte emisjonen skal dominere er at populasjonsinversjonen ikke umiddelbart blir ødelagt på grunn av spontan emisjon. Den stimulerte emisjon er proporsjonal med strålingstett-

heten $\varrho(\omega_{12})$, foruten antall atomer i tilstanden 2. Den kan derfor bringes til å dominere over den spontane emisjonen ved å bygge opp et så intenst elektromagnetisk felt at tilstandene blir stimulert til å emittere før de rekker å gjøre det spontant.

Altså, nødvendig forutsetning for laser-virkning: Populasjonsinversjon og en intens strålingsettthet, $\varrho(\omega_{12})$.

Her kan innskytes at skal vi beskrive populasjonsinversjon ved Boltzmanns lov, må vi innføre negativ temperatur, som jo i høyeste grad er et abstrakt begrep. Vi ser dette bli gjort, men vi må være klar over at det er en tilsnikelse fordi populasjonsinversjonen så langt fra er en likevektstilstand.

Egenskaper ved den stimulerte emisjon.

Vi skal se litt nærmere på egenskapene ved den stimulerte emisjonen.

Hvis et foton med frekvens ω_{12} (fig.2), som faller sammen med frekvensen $\frac{E_2 - E_1}{\hbar} = \omega_{12}$ kommer i nærheten av et atom i tilsatnden E_2, vil det kunne utløse et foton med samme frekvens, ω_{12}. Det fundamentale i denne prosessen er at det foton som sendes ut vil ha samme frekvens og vil sendes i samme retning som det innkommende foton.

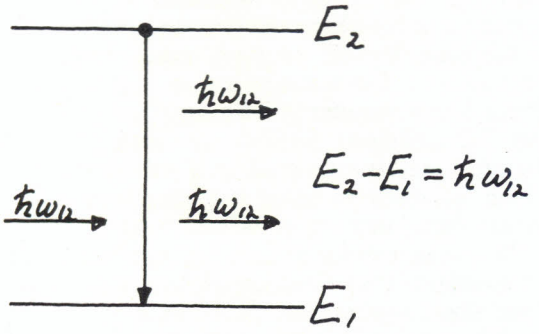


Fig. 2. Stimulert emisjon av et kvant.

At det er slik viste Einstein i sitt arbeid fra 1917. Han pekte på at alle emisjoner, spontane og stimulerte, måtte være rettede prosesser. De spontane emisjonene er tilfeldige prosesser, og vil i løpet av en viss tid ha fordelt seg likt i alle retninger. De stimulerte emisjonene derimot er knyttet sammen med strålingsfeltet, og vil alltid ha samme retning som dette.

En kaskade av fotoner, opprinnelig startet av ett foton vil ha samme retning og frekvens som dette foton. Det er på grunn av dette at lyset som produseres blir så koherent og parallelt.

Det finnes også fra langt tilbake et eksperiment som beviste eksistensen av stimulert emisjon.

Stimulert emisjon kan påvises ved dispersjonsmålinger, der den vil komme inn som et negativt ledd i dispersjonen. Dette ble oppdaget av Ladenburg og Kopfermann i 1928. [2]

Eksperimentet var så nær en gasslaser som en kan komme uten å lage den.

De brukte et Jamins refraktometer. Prinsippet var å sammenlikne to lysstråler, der den ene strålen gikk gjennom et ikke eksitert utladningsrør, og den andre gikk gjennom et identisk, men eksitert utladningsrør.

Ved så å eksitere stadig fler atomer i det ene røret, fikk de en økning av den stimulerte emisjonen. De målte forskjellen i dispersjonen for de to strålene.

Resultatet av målingene var at de gav et bevis for eksistensen av den stimulerte emisjon, og — hva som også er viktig — de viste at den var opphav til et meget koherent lys.

Linjebredden.

La oss nå tenke oss at vi har en meget lang stav, med tilstrekkelig mange molekyler med passende energitilstander, og at det foreligger en populasjonsinversjon i hele staven:

$$n_2 > n_1$$

Ved spontan emisjon starter så en bølge i retning langs aksen, og den begynner å vandre gjennom materialet. På veien utløser den nye bølger som så vandrer nedover langs aksen, og et intenst elektromagnetisk felt vil etter hvert bygge seg opp. Overganger mellom to tilstander vil gi en linje med en viss frekvensbredde, og fra ensemblet som helhet kan vi få ut en linje men en Lorentz bredde $\Delta\omega_L$ rundt en frekvens ω_{12}. Dette er fremstillet på fig. 3.

Lysforsterkningen kommer fra den stimulerte emisjonen, og den er avhengig av $\varrho(\omega_{12})$ B_{21}. Sannsynlighetskoeffisienten B_{21} er noe frekvensavhengig, men varierer ikke særlig mye over Lorentz bredden. Strålingsfeltet $\varrho(\omega_{12})$ derimot er meget frekvensavhengig. Det betyr at linjens topp vil forsterkes mye mer enn dens flanker, og vi får en innsnevring av frekvensbredden. En fundamental egenskap ved den stimulerte emisjon er at den vil gi en meget selektiv forsterk-

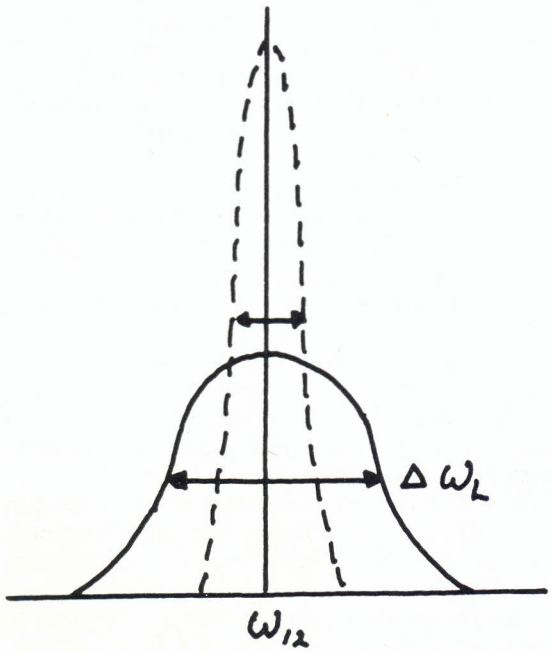


Fig. 3. Innsnevring av linjebredden ved forsterkning fra stimulert emisjon.

ning, og linjebredden for ensemblet vil snevres inn.

Er bare staven lang nok, og det bør tilføyes, homogen nok, vil det etter hvert bygges opp et så sterkt felt at den stimulerte emisjonen overtar over den spontane, og vi vil få en intens og meget monokromatisk og parallell lysstråle med en linjebredde som er vesentlig mindre enn Lorentzbredden.

Lysstrålen vil øke i intensitet til en grenseverdi bestemt av populasjonsinversjonen, utover denne grensen kan den ikke økes før en øker populasjonsinversjonen.

Resonanskavitet.

Men nå er det både upraktisk og vanskelig å lage så lange lasere. Med de dimensjonene som er praktiske å lage, vil det ikke bygge seg opp sterkt nok strålingsfelt ved en gjennomgang i staven.

I stedet kan vi la lyset reflekteres ved hjelp av to parallelle speil (fig. 4), slik at det løper

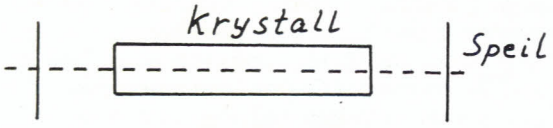


Fig. 4. Den geometriske oppstilling i en resonator.

fram og tilbake mellom disse. Det vil bli dannet stående bølger i denne resonatoren. Men derved har vi også fått med nye effekter.

Siden avstanden mellom speilene er meget lang i forhold til bølgelengden av lyset, får vi en multimode resonator.

Med en avstand på 5 cm. mellom speilene får vi plass til 144 030 halve bølgelengder ved bølgelengden 6943,00 Å. Ved 6943,05 Å blir tallet 144 029 halve bølgelengder.

Fluoressenslinjebredden i rubin er på 3—4 Å, og vi får mange mulige svingningsmoder innenfor denne bredden, slik som fig. 5 viser.

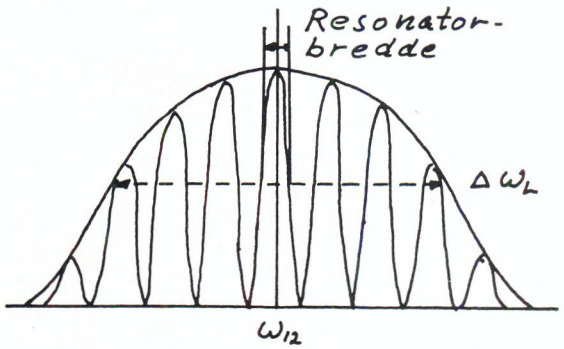


Fig. 5. Antall mulige svingningsmetoder innenfor Lorentz-bredden.

En, eller i høyden et par av disse modene vil dominere, og frekvensspredningen på det lyset som kommer ut av resonatoren er vesentlig mindre enn for eksempel Lorentz-bredden.

Linjebredden vil nå også være bestemt av resonatoren. Resonatoren er av typen Fabry-Perot interferometer. Vi får også her en meget parallell strålebunt, fordi de stimulerte emisjonskvanter som starter med en liten vinkel med aksen, vil starte en bølge som etter noen refleksjoner forsvinner ut av feltet.

Det er sannsynlig at flere kvanter kan sendes ut spontant langs aksen og på den måten starte hver sine bølgetog, som da vil være ute av fase med hverandre. For å få nærmere oversikt over dette problemet skal vi se på strålingstettheten $\varrho(\omega_{12})$.

Strålingstettheten anhenger av den midlere, kvadratiske verdi av feltstyrken E, og av formen på spektralfordelingen. For en Lorentz-linje, $\Delta\omega_2$, kan vi skrive for strålingstettheten $\varrho(\omega_{12})$:

$$\varrho(\omega_{12}) = K \cdot \frac{E^2}{\Delta\omega_L}$$

K er en konstant. Dette betyr at om det starter flere bølgetog i akseretningen, så vil et av dem ganske snart overta fordi vi har denne E^2 avhengigheten, og de andre bølgetogene vil derved dempes ned og raskt dø ut.

Praktiske problemer.

Alle de vesentlige prinsippene som ligger til grunn for laseren var kjent i mange år, og de lå ubenyttet til Townes, Básof og Prókorof begynte å kvalifisere seg for Nobelprisen. Det som gjensto var å få en oversikt over de praktiske problemene.

Vi skal se litt på de problemene som måtte løses for å få laseren til å virke, og starter med betingelsene for populasjonsinversjon. Vi har et lasermateriale av tverrsnitt a og lengde l, og to speil med refleksjonskoeffisient r. Den effekt som avgis fra den stimulerte emisjonen kan skrives: (3)

$$P_{st} = K_1 \cdot \varrho(\omega_{12}) \cdot \hbar\omega_{12}(n_2 - n_1)$$

For å opprettholde en midlere, kvadratisk feltstyrke E^2 i denne geometriske oppstillingen kreves en effekt:

$$P = K_2 \cdot E^2 \cdot a\,(1 - r)$$

Den stimulerte emisjonen må altså minst tilføre en så stor effekt, P, og vi får, etter å ha satt inn det tidligere uttrykk for $\varrho(\omega_{12})$:

$$n_2 - n_1 \geqq K_3 \cdot a(1 - r)\,\frac{\Delta\omega_2}{\hbar\omega_{12}}$$

Vi ser at populasjonsinversjonen er avhengig av hvilken frekvens vi arbeider ved, foruten de mer selvfølgelige geometriske konstanter.

Innfører vi nå koeffisienten A_{21} for spontan emisjon og antall moder p innen Lorentz-bredden $\Delta\omega_2$, kan vi få et uttrykk for minimumseffekten som skal til for å holde laser-virkningen gående:

$$P_{\min} \sim p\hbar\omega_{12} \cdot \frac{c(1 - r)}{l} = (n_2 - n_1) \cdot \hbar\omega_{12} \cdot A_{21}$$

Her vil p være avhengig av formen av linjen, Lorentz-bredde eller Doppler-bredde.

For en Lorentz-linje, vil $P_{\min}$ variere med

$$p \cdot \omega_{12} a\omega_{12} \cdot \Delta\omega_L \cdot \omega_{12} a\omega^6_{12}$$

fordi: $\Delta\omega_L \propto A_{21} a\omega_{12}{}^3$

Er det en Doppler-linje varierer $P_{\min}$ med $\omega_{12}{}^4$. Det blir altså vesentlig vanskeligere å få til laser-virkningen ettersom frekvensen øker. Når vi så kommer langt ut i den ultraviolette delen av spektret, blir det etter hvert temmelig håpløst å få det til.

Rubinlaseren.

Vi skal se litt nærmere på rubinlaseren.

Den første som greide å få en laser til å virke var Maiman ved Hughes Aircraft i California. Han sendte en liten rapport om rubinlaseren til Physical Review Letter, men den ble refusert fordi redaktøren mente den ikke inneholdt noe av betydning.

Ordet «Laser» ble prompte til å bety: «Let's Abandon Significant Experimental Reports». Rapporten kom i «Nature» i 1960. (4)

En rubinlaser kan vi få til å levere lys både kontinuerlig, ved å kjøle den ned til 77° K, og i pulser. Foreløpig er det den som, i pulser, kan levere størst effekt.

Rubin er Al_2O_3, dopet med en liten del Cr^{3+} ioner. Doping-prosenten ligger gjerne i området 0,01—0,5 prosent.

Den har et energinivå-skjema som vist på fig. 6.

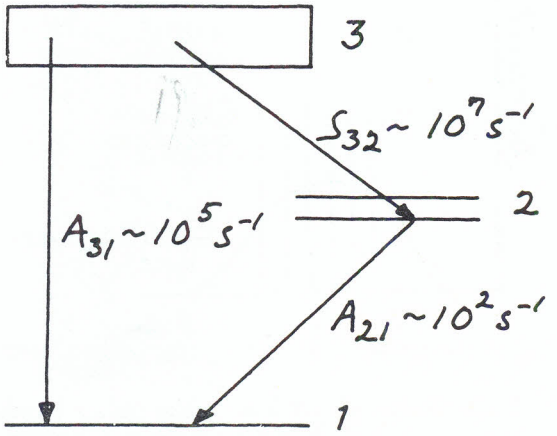


Fig. 6. Energinivå-skjema for rubin.

Eksitasjonen foregår ved bredbands absorpsjon av stråling fra den grønne delen av spektret. Fra nivå 3 går atomene med raske strålingsløse overganger til to fluorescens nivåer med forholdsvis lang levetid, ca. 5 millisekunder. Med en tilstrekkelig høy eksitasjonseffekt vil en få populasjonsinversjon mellom et av fluorescensnivåene og grunntilstanden. Det er meget få strålingsløse overganger mellom disse to nivåene.

Av verdiene for A_{31}, S_{32} og A_{21} ser en at de-eksitasjonene vesentlig foregår via fluorescens-

nivåene. Det mellomliggende nivå er helt nødvendig for å få populasjonsinversjon. Med bare to nivåer kan vi ikke komme ut over likevektstilstanden; absorpsjon og emisjon like stor.

Svart legeme temperaturen på eksitasjonslyset for tilstrekkelig inversjon, ligger på 3300°K, en temperatur som er meget enkel å oppnå med et gassutladningsrør.

Resonatoren kan enten være to speil montert et stykke fra endeflaten av krystallen, eller en kan dampe sølv direkte på endeflatene. Det ene speilet må være delvis gjennomsiktig. Det kan bemerkes at intensiteten i den utsendte stråling bare vil være en liten brøkdel av intensiteten av de stående bølgene inne i resonatoren, ca 1%.

I den tiden flash-lyset står på — det kan dreie seg om millisekunder — vil laseren gi ut en rekke korte pulser av varighet ca. 1 μs. (Fig. 7). Grunnen til at vi får disse korte pulsene, og ikke en lang puls, er at populasjonsinversjonen raskt faller under den kritiske verdi, og den stimulerte emisjonen blir ikke tilstrekkelig til å holde det gående. Men så lenge flash-lyset varer, bygges inversjonen raskt opp igjen og en ny laser puls kommer.

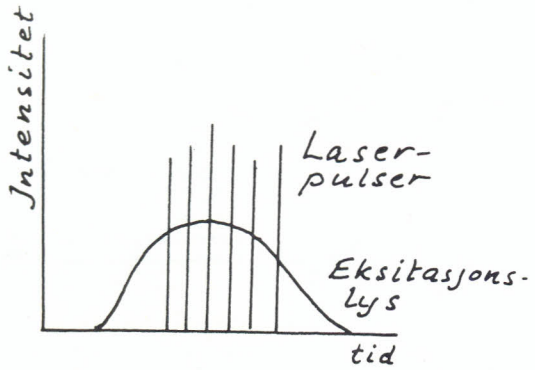


Fig. 7. Laserpulser i den tiden eksitasjonslyset varer.

Rubinlaseren gir altså en rekke pulser i rask rekkefølge, helt til flash-lyset stopper. Gjennomsnittseffekten over denne tiden kan dreie seg om hundrer av kilowatt. I hver puls vil vi da ha størrelsesorden megawatt.

Rubinlaseren kan, istedenfor en rekke pulser, også gi en eneste, en såkalt gigant-puls. Hvis vi nemlig kan holde igjen starten av laserstrålingen til flash-lyset på det nærmeste er over, vil vi ha opparbeidet en maksimal populasjonsinversjon. Så startes laserstrålen og all energien går ut i en eneste puls (fig. 8).

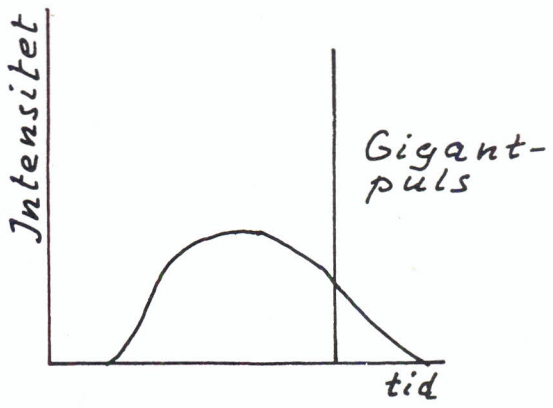


Fig. 8. Gigant-laserpuls.

En enkel måte å få til en gigant-puls på er å la det ene speilet rotere. Rotasjonen er synkronisert slik at speilet blir parallelt med det andre speilet først etter at en har fått opparbeidet en maksimal populasjons-inversjon.

Ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, er det blitt konstruert og laget en rubinlaser, som både kan gi ut en rekke pulser, og ved å sette inn et roterende speil, gir ut en gigant-puls. Denne laseren brukes i forbindelse med en stor gitterspektrograf til molekylundersøkelser.

LITTERATUR:

(1) A. Einstein, Ph. Z *18,* 121, 1917.
(2) R. Radenburg og H. Kopfermann, Nature, Paris, *122,* 438, 1928.
(3) O. S. Heavens: Optical Masers, London: Methuen & Co., Ltd., 1964
(4) T. H. Maiman, Nature, *187,* 493, 1960.

Hva er reaktorfysikk?

Jon Berg

1. *Innledning.*

Hensikten med denne artikkelen er å gi leserne en viss idé om hva som skjuler seg bak begrepet reaktorfysikk. Beskrivelsen av en hel faglig disiplin innenfor rammen av en enkel artikkel må nødvendigvis bli ganske overfladisk. Vi skal likevel forsøke å skissere de hovedproblemer som reaktorfysikken befatter seg med og kort angi hvilke karakteristiske metoder og hjelpemidler den anvender. Dessuten vil vi plasere reaktorfysikken i en større sammenheng ved å indikere den rolle reaktorfysikken spiller for atomreaktorteknologien som helhet. Videre vil vi nevne noen av de kontaktpunkter og grenseområder som finnes mellom reaktorfysikken og andre grener av moderne fysikk.

2. *Reaktorfysikkens hovedproblem.*

I reaktorfysikken har man som viktigste generelle oppgave å bestemme nøytrontettheten i reaktoren som funksjon av sted, tid, energi og romvinkel. Dette er i prinsippet ekvivalent med å kartlegge reaksjonshastigheten for samtlige kjernereaksjoner i reaktoren som funksjon av de samme variable. Bestemmelse av f.eks. reaktorens kristiske størrelse kan betraktes som en del av denne generelle problemstillingen. (For definisjon av kritisk størrelse og andre reaktorfysikalske begreper - se [1]). Matematisk sett er reaktorfysikkens problem formulert i Boltzmanns transportligning med tilhørende grensebetingelser. Reaktorfysikerens oppgave består prinsipielt i å løse denne ligningen på en tilfredsstillende måte for en hel rekke forskjellige reaktortyper som hver er karakterisert ved sin spesielle geometri og materialsammensetning. For reaktorer som utvikler betydelig effekt kompliserer dessuten problemet av vekselvirkningen mellom nøytronfluksen og termisk-hydrauliske forhold.

I motsetning til den ikke-linære Boltzmannligning i gassteorien er Boltzmanns transportligning for nøytronfluksen for de fleste og viktigste problemer en lineær ligning. Den er til idag likevel løst analytisk tilfredsstillende bare for et fåtall problemer som representerer en sterk forenkling av de virkelige fysikalske forhold i en reaktor. Årsakene til dette er både av matematisk og fysikalsk natur. Matematisk sett tilhører Boltzmann-operatoren klassen av ikkeselvadjungerte operatorer, og dens egenskaper er ennå langt fra utforsket. Fysikalsk sett er det særlig tre forhold som virker sterkt kompliserende: For det første varierer virkningtverrsnittene med energien, og variasjonen er i visse tilfelle særlig drastisk som f.eks. i resonansene hos viktige elementer som uran og plutonium. For det andre har virkningstverrsnittene en diskontinuerlig romavhengighet som følge av den sterkt heterogene geometriske og materialmessige struktur i de fleste reaktorer av praktisk interesse. Da den midlere fri veilengde for nøytronene ofte er av omtrent samme størrelse som de karakteristiske geometriske dimensjonene for heterogenitetene medfører disse sterke lokale variasjoner og anisotropi i nøytronfluksen. Den tredje faktoren er spesifikk for termiske reaktorer og gjelder de kompliserte spredningslovene for termiske nøytroner i materialer som vann, tungtvann og grafitt (moderatormaterialer).

3. *Teoretiske og eksperimentelle arbeidsmeoder*

Vi skal kort diskutere noen av de mest karakteristiske arbeidsmetodene og teoretisk-eksperimentelle hjelpemidlene som anvendes innen reaktorfysikken.

På den teoretiske siden konsentrerer man seg om på grunnlag av Boltzmann-ligningen å konstruere approksimative teorier som gjenspeiler det vesentlige av fysikken i problemene. Approksimasjonene varierer fra problem til problem og deres gyldighet er ofte begrenset til en viss reaktortype eller til et visst område for karakteristiske parametre. De approksimative teoriene kan i visse tilfelle lede til analytiske løsninger, men som oftest må man ta til hjelp numeriske metoder og regnemaskiner. De beregningsmessige oppgavene man står overfor i reaktorfysikken er stort sett av slike dimensjoner at man ville være hjelpeløs uten bruk av effektive regnemaskiner. Så har da også reaktorfysikkens problemer i vesentlig grad påskyndet og preget utviklingen av de store sifferregnemaskinene.

Siv.ing. Jon Berg er avdelingsfysiker ved Institutt for Atomenergi, Kjeller.

En annen viktig del av arbeidet på teorisiden går ut på å utlede analytiske eksakte løsninger til Boltzmann-ligningen for forenklede problemer. Slike studier har gitt grunnlaget for visse sentrale teoremer og begrep innen det vi idag forstår med reaktorteorien. De analytiske løsningene gir spesielle muligheter for øket innsikt i de fysikalske prosessene, samtidig som de danner et fast fundament for introduksjon av brukbare approksimasjoner i mer kompliserte og realistiske problemer. Ved å anvende denne metodikken kjenner man idag meget vel under hvilke forhold man f.eks. kan erstatte Boltzmann-ligningen med konvensjonell diffusjonsteori. Man vet endog hvordan diffusjonsteorien i visse tilfelle kan modifiseres for å gi bedre overensstemmelse med den eksakte løsningen. Reaktorteorien er full av eksempler på slike fruktbare praktiske resultater av fundamentale transportteori-studier.

På den eksperimentelle siden av reaktorfysikken søker man metodisk å utføre slike eksperimenter som best mulig kan teste gyldigheten av de teoretiske modellene. Ved spesielle kombinasjoner av teori og eksperiment kan man også i en viss utstrekning undersøke nøyaktigheten av visse spesielt viktige nukleære data. En rekke slike data er enda ikke bestemt med en nøyaktighet som tilfredsstiller reaktorfysikkens behov.

To av de viktigste kategorier eksperimentelle hjelpemidler innen reaktorfysikken er de såkalte nulleffektsreaktorer og eksponentialoppstillinger. Nulleffektsreaktorene er kritiske systemer som utvikler effekter av størrelsesorden watt, d.v.s. at effekten i praksis er null og ikke påvirker de nøytrontransportmessige forholdene i reaktoren. Eksponentialoppstillingene er subkritiske og må mates med en nøytronkilde for å opprettholde en stasjonær nøytronfluks. Den vesentlige fordelen ved de sistnevnte er at det bare fordres en brøkdel av den kritiske masse fissilt materiale som inngår i en nulleffektsreaktor, men ulempene er en mer begrenset eksperimentell frihet og større vanskeligheter med interpretasjonen av de eksperimentelle resultatene. Også i eksponentialoppstillingene er effektvirkningen neglisjerbar. Begge typer innretninger, nulleffektsreaktorene og eksponentialoppstillingene, er karakterisert ved at man på en fleksibel måte kan undersøke reaktorfysiske parametre for en lang rekke reaktorkjerner med forskjellige geometriske og materialmessige konfigurasjoner.

De reaktorfysiske eksperimentene er av både statisk og dynamisk natur. En stor og viktig gruppe eksperimenter tilhørende den statiske typen — de såkalte aktiveringseksperimenter — går ut på å bestråle små samples, f.eks. tynne folier, av materialer med kjente virkningstverrsnitt og så avlede nøytronfluksen av de induserte aktivitetene i disse materialene. Et fundamentalt problem knyttet til disse og de fleste andre reaktorfysikalske eksperimenter er at man bare får opplysning om den integrerte fluksen innenfor et visst energiintervall. Dette vanskeliggjør selvsagt en entydig sammenligning mellom teori og eksperiment. Det er karakteristisk for reaktorfysikken som helhet at sammenligningen mellom teori og eksperiment i høy grad må skje på basis av integrale parametre. En del slike parametre er omtalt og diskutert i en tidligere artikkel [1] i dette tidsskriftet. — De dynamiske eksperimentene konsentrerer seg om måling av visse integrale parametre som er av sentral betydning for reaktorsystemets stabilitetsmessige egenskaper. En slik parameter er f.eks. den midlere levetiden for nøytronene i reaktoren — dvs. det midlere tidsintervall mellom det tidspunkt da nøytronene oppstår i fisjonsprosessen og det tidspunkt da de forsvinner fra kjedereaksjonen enten ved absorbsjon eller lekkasje. Informasjon om de dynamiske reaktorparametre kan man eksperimentelt få ved f.eks. å eksitere reaktoren med en tidsvarierende parasitisk nøytronabsorbsjon og studere responsen i nøytronfluksen.

Ved eksperimenter i nulleffektsreaktorer eller eksponentialoppstillinger har man meget begrensede muligheter for å undersøke visse fysikalske forhold som er av avgjørende betydning for kraftproduserende reaktorer. Nøytronfluksen i disse påvirkes i sterk grad av faktorer som høye temperaturer, oppbygning av betydelige mengder frisjonsprodukter, forbruk og produksjon av fissilt materiale, samt av reaktorens kontrollsystem og kjøleteknisk system. Dessuten kan reaktorens dynamiske egenskaper forandres radikalt som funksjon av effektnivået. En gruppe dynamiske parametre av spesielt stor betydning for kraftreaktorer er de såkalte reaktivitetskoeffisienter som grovt sagt angir hvor mye reaktoren fjerner seg fra den kritiske tilstand når visse av reaktorens driftsbetingelser forandres. En temperaturkoeffisient kan f.eks. angi hvor langt reaktoren fjerner seg fra den kritiske tilstand ved at temperaturen i moderatoren forandrer seg med en grad. Teoretisk eller eksperimentell informasjon om slike parametre er nødvendig for bestemmelse av kraftreaktorers stabilitetsmessige og sikkerhetsmessige egenskaper. Generelt finnes det til nå bare en beskjeden mengde publiserte eksperimentelle data fra kraftreaktorer. Eksperimentene er vanskelig å utføre, de nødvendige eksperimentelle metodene er langt fra ferdig utviklet og oppnådde resultater blir ofte hemmeligholdt.

4. *Reaktorfysikken og reaktorteknologien.*

Hvilke rolle spiller så reaktorfysikken innenfor reaktorteknologien som helhet? Reaktorfysikken er helt og fullt et område innen den anvendte eller tekniske fysikk. Den er en integrert og viktig del av atomreaktorteknologien hvis oppgave det er å konstruere reaktorer som tilfredsstiller visse tekniske og økonomiske kriterier. Det er idag under utvikling en hel rad ulike reaktortyper som karakterisert f.eks. ved sitt nøytronenergispektrum varierer fra de termiske reaktorer til de hurtige med tyngdepunkt i spektret på flere hundre keV. Reaktorene anvender forskjellige kombinasjoner av fissilt og fertilt materiale, forskjellige moderatorer og kjølemidler, reaktorkjernegeometrier og kontrollsystemer. Reaktorfysikken inntar en nøkkelposisjon når det gjelder å vurdere alle de muligheter som her foreligger siden det er dens oppgave å kartlegge kjernereaksjonene i reaktorene. Dette innebærer bl.a. at reaktorfysikken spiller en hovedrolle når det gjelder å bestemme den geometriske og materialmessige sammensetning av reaktorkjernen som under et sett gitte betingelser gir det gunstigste resultat. Det er f.eks. reaktorfysikernes oppgave å bestemme reaktorens oppnåelige levetid ved en gitt effekt, den detaljerte effektfordeling og isotopmessige sammensetning i reaktoren som funksjon av tid og sted, kontrollsystemets nøytronfysikalske egenskaper samt den strategi som bør anvendes ved kontroll av reaktoren. Med visse mellomrom må brenselet i reaktorkjernen skiftes ut helt eller delvis, og det blir i høy grad reaktorfysikkens sak å bestemme den optimale strategi ved inn- og utmatning av fissilt materiale. Videre har reaktorfysikerne en vesentlig del av ansvaret for å bestemme reaktorens dynamiske og sikkerhetsmessige egenskaper.

Den optimale utforming av en reaktorkjerne er et komplisert problem som krever et intimt samspill mellom ulike faglige disipliner som reaktorfysikk, mekanisk konstruksjon, termodynamikk, hydrodynamikk, metallurgi og kjemi. Det endelige resultat må bli et kompromiss som tar hensyn til en rekke krav og betingelser fra alle disse fagområdene. I dette kompliserte samspillet har reaktorfysikken en sentral stilling med avgjørende innflytelse på de bestemmelser som treffes innen de andre fagområdene. Kravene fra disse setter på sin side visse grenser for den frihet reaktorfysikerne har ved utformingen av reaktorkjernens nøytrontransportmessige egenskaper.

5. *Reaktorfysikk og annen fysikk.*

Vi skal til slutt si litt om relasjonen mellom reaktorfysikken og andre grener av moderne fysikk. Det er da naturlig først å nevne lavenergi kjernefysikken som leverer den overveiende del av materialkonstantene som inngår i Boltzmann-ligningen. Slike data er virkningstverrsnittene for nøytronreaksjoner med en rekke forskjellige elementer i energiområdet opp til ca. 10 MeV, resonansparametre for elementene, antall nøytroner pr. fisjon for fissile isotoper og fisjonsnøytronenes spektrale fordeling, den isotopmessige fordeling av fisjonsfragmentene og desintegrasjonsskjemaer for en del av disse isotoper. Når det gjelder virkningstverrsnittene, så er situasjonen i dag den at en rekke av disse ikke er kjent med en nøyaktighet som tilfredsstiller reaktorfysikkens behov. Mangelen på nøyaktige tverrsnitt er spesielt følbar i det arbeid som pågår med utvikling av hurtige reaktorer. Siden målinger av tverrsnitt i mange tilfeller krever kompliserte og kostbare eksperimenter, har man innen reaktorfysikken lagt stor vekt på å spesifisere hvilke tverrsnitt som bør måles og hvilken nøyaktighet man ønsker i målingene. En meget vesentlig del av de tverrsnittsmålinger som i dag er under utførelse i dette energiområdet, skjer som følge av dokumenterte behov innen reaktorfysikken. Det bør også nevnes at man nå på teoretisk basis kan bestemme visse virkningstverrsnitt med brukbar nøyaktighet ved skjønnsom anvendelse av eksisterende modeller for kjernereaksjoner. Den viktigste anvendelsen av disse teoretiske metodene består foreløbig i at de gjør det mulig approksimativt å bestemme en del tverrsnittsverdier innen visse energiområder ved ekstrapolasjon fra målinger utført i isolerte punkter. På dette området har det i løpet av det siste ti-år foregått en interessant og givende vekselvirkning mellom den anvendte reaktorfysikk og en gren av moderne grunnforskning.

Et annet område i fysikken av både fundamental karakter og av stor viktighet for atomreaktorer er molekyldynamikken i væsker og faste stoffer. På den fundamentale siden er man interessert i å bruke langsomme nøytroner for studiet av molekylenes dynamiske egenskaper, på reaktorfysikksiden behøver man informasjon om disse egenskaper for å kunne beregne de differensielle spredningstverrsnitt i det termiske området for stoffer som vann, tungtvann og grafitt. Disse spredningstverrsnittene er nødvendige for beregning av reaktorens termiske nøytronspektrum, og dets egenskaper er av vital

betydning for en stor klasse reaktorer. Den felles interesse for de kjemiske bindingseffektenes innflytelse på atomenes dynamikk har i de senere år resultert i et fruktbart samarbeide mellom anvendt og grunnleggende fysikk.

Vi bør også nevne forbindelsene mellom nøytrontransportteori og teorien for strålingsforplantning i astrofysikken. Visse grunnleggende problemer i nøytrontransportteori ble behandlet og delvis løst av astrofysikere som Milne, Hopf og andre før nøytronet endog var oppdaget, og nevnes må også det senere arbeid av Chandrasekhar. På den annen side bør mange av de metoder som senere er blitt utviklet av reaktorfysikere for nøytrontransportproblemet med fordel kunne anvendes på visse problemer i astrofysikken.

[1] Andersen, E.: «Hva er en kritisk reaktor?» Fra Fysikkens Verden nr. 2, 1965.

John Dalton

1766—1844

Jostein Knutsen

Helt frem til begynnelsen av det nittende århundre gikk fysikk, kjemi, astronomi og ingeniørvitenskap under fellesbetegnelsen naturfilosofi (Natural Philosophy). Svært ofte arbeidet vitenskapsmenn snart med det ene og snart med det andre faget. Fagene omfattet på den tiden en så beskjeden stoffmengde at en intelligent og flittig forsker kunne være en fagmann i dem alle.

Men fra omkring år 1800 skjer det en forandring. James Watts oppfinnelse av dampmaskinen i 1769 bevirker etter hvert et større og større behov for spesialiserte ingeniører. Dette behov øker ytterligere ved oppfinnelsen av forbrenningsmotoren, og den praktiske anvendelse som man litt etter litt finner for elektrisiteten. Og dermed skiller ingeniørvitenskapen seg ut som eget fag fra naturfilosifien. I dette tidsrom blir også astronomien mere og mere spesialisert, og selv om man her fortsatt benytter seg av de samme begreper og metoder som i fysikken, skiller astronomien seg ut som eget fag. Ved år 1800 synes det eldgamle stridsspørsmål om hvor vidt materien består av partikler eller er kontinuerlig å ha fått sin løsning. Det synes å ha vært en alminnelig oppfatning at materien består av partikler, selv om ingen enda har samlet og bearbeidet det stoff som kan tale for denne hypotese, og ingen har våget å postulere eksistensen av atomer.

Atombegrepet omtrent slik vi kjenner det i dag, ble utarbeidet av John Dalton en gang mellom 1803 og 1805. Og dette danner da grunnlaget for faget kjemi. Resten av faget Natural Philosophy ble så til fysikk.

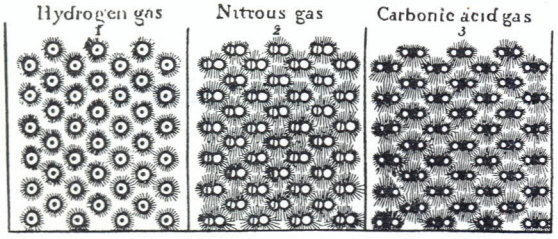
I korthet går jo Daltons atomteori ut på at materien er bygget opp av atomer, at atomene i et og samme grunnstoff er like og at atomene tiltrekker hverandre og forbinder seg med hverandre i visse enkle forhold.

Det har vært en del uenighet om hva som ga Dalton ideene til de postulatene som førte til atomteorien. Det sannsynlige er vel at flere ting har satt ham på sporet. Dalton hadde stor interesse for metereologi, og han trodde at luften besto av en blanding av gasser som besto av små partikler som gjensidig frastøtte hverandre. Og problemet med hvorfor de tunge komponentene ikke skilte seg fra de lette opptok han meget. Han mente at partiklene i de forskjellige gassene hadde forskjellig volum, og at dette forklarte hvorfor de diffuderte i hverandre og ikke bare ble liggende lagvis.

Dalton studerte også oppløseligheten av gasser i væsker. For å forklare at oppløseligheten varierte, antok han at gassmengden som ble oppløst var avhengig av vekten og antallet av partikler. Mange mener at det var disse forsøkene som førte til atomteorien, og at andre eksperimenter bare ble brukt til å underbygge denne teorien. Ved hjelp av sin teori kunne Dalton nå gi kvantitativ forklaring på en rekke kjemiske reaksjoner. Proust og Richter hadde nylig funnet at det var et konstant mengdeforhold i kjemiske forbindelser, videre at dersom grunnstoffene A og B reagerte med en viss stoffmengde av grunnstoff C, så ville de stoffmengdene som gikk med for å reagere med C være lik de stoffmengdene som gikk med når A og B reagerte med hverandre. Disse lovene kunne Dalton forklare ved å anta at atomene i ett og samme grunnstoff hadde samme vekt. For å illustrere reaksjoner mellom atomene laget han seg symboler for de forskjellige atomer. På figuren ser man hvordan han betegnet hydrogen, nitrogenoksyd og karbonoksyd.

Dalton fant også ut at atomenes relative vekter kunne beregnes ved eksperimenter hvor grunnstoffene reagerte med hverandre. På denne måten greidde han å lage en tabell med atomvekter.

Can. reol. Jostein Knutsen er lektor ved Luftkrigsskolen, Trondheim.



Vannstoff, kvelstoffoksyd og kulloksyd ifølge Dalton, grunnleggeren av den moderne atomteori.

Atomvekten for hydrogen ble satt til 1 og de andre atomvektene ble bestemt ut fra denne. For oksygen f.eks. fant han atomvekt 7, for fosfor 9 (riktig atomvekt 31), for svovel 13 (riktig taomvekt 32,1). En av forklaringene på dette tilsynelatende dårlige resultat er at Dalton og forøvrig heller ikke andre på den tiden var klar over at grunnstoffene normalt opptrer som molekyler bestående av flere atomer.

Dalton var klar over at atomene kunne reagere med hverandre i andre forhold enn 1 : 1 og at disse forhold alltid var enkle. Han fant også at når to stoffer inngår mere enn en forbindelse med hverandre, så står alltid de mengder av det ene stoff som forbinder seg med samme mengde av det andre stoffet i innbyrdes enkle tallforhold. (Rule of Greatest Simplicity.)

Fra gymnasfysikkbøkene kjenner vi Daltons lov om partsialtrykkene. Denne loven kom Dalton frem til ved den feilaktige slutning at atomene fra et og samme grunnstoff alltid frastøter hverandre, mens atomer fra forskjellige grunnstoffer tiltrekker hverandre.

Av andre oppdagelser Dalton gjorde er det verd å nevne at han var den første som fant at luften ble oppvarmet ved kompresjon. I 1801 antok han at gassene ville kunne la seg fortette til væske om det ble utsatt for høyt trykk og lav temperatur. Han mente også at nordlyset på en eller annen måte skyltes elektrisitet. Som en kuriositet kan også nevnes at han var den første som beskrev en spesiell form for fargeblindhet, den såkalte daltonisme, som han og hans bror led av.

Av det som hittil er skrevet, skulle man kanskje kunne dra den slutning at Dalton var en flink eksperimentator. Men det motsatte var i virkeligheten tilfellet. Den alt overveiende del av sine konklusjoner dro Dalton av rapporter som han mottok fra andre.

Av innledningen i denne artikkel går det frem at Dalton regnes som en av grunnleggerne av kjemi som egen vitenskap. Men med den vending utviklingen har tatt fra Røntgens oppdagelse og frem til i dag, må vel Dalton kunne regnes for å være like meget fysiker som kjemiker.

Hva vil vi — Hva bør vi — Hva kan vi?

Diskusjon ved Norsk Fysisk Selskaps årsmøte 1966.

Ved Norsk Fysisk Selskaps årsmøte 1966 var tillyst en diskusjon om norsk fysisk forskning med innledningsforedrag av professorene Tore Olsen, Haakon Olsen og Bjørn Trumpy. Vi bringer her utdrag av de tre innledningsforedragene.

Tore Olsen:

Innledning til diskusjon om norsk fysisk forskning

En diskusjon om norsk fysikk i et representativt forum av norske fysikere har vært ønsket lenge og fra mange hold. Det kan derfor være grunn til å avklare hva som ligger bak et slikt ønske, og hvorfor det ligger »i luften».

De fleste årsaker er sannsynligvis meget nærliggende. F.eks. mener mange at sulteforingen av norsk fysikk krever en samlet innsats overfor våre myndigheter og at balansen mellom de forskjellige fysiske disipliner er skjev. Det hersker også hos mange en generell mistro til våre nåværende faglige organers representativitet og deres behandlingsprosedyre, og det hevdes at norsk fysikk har vokst ut av sitt organisatoriske mønster. En rekke meningsberettigede har i dag ingen mulighet for å fremme sine syn. Dette gjelder de interne administrasjonsordninger ved våre universiteter og høyskoler og de råd og utvalg som utpekes av disse institusjoner. Det gjelder også de «ekstrerne» fysiske miljøers muligheter til å fremme sine syn overfor utdannelsesinstitusjonene.

Norsk Fysisk Selskap er derimot en forsamling hvor *alle* fysikere uansett arbeidssted og status kan utveksle meninger og erfaringer, og er derfor et egnet debattforum for de problemer norsk fysikk står overfor. Det er imidlertid ønskelig at en diskusjon om norsk fysikk ikke utelukkende blir preget av øyeblikkets problemer og skjevheter. Et for ensidig preg i denne retning vil føre til at noen inntar forsvarsposisjoner og resten behagelige, men lite fruktbare angrepsposisjoner. Diskusjoner om forskning og allokering til forskning foregår i alle land og især i de land det ikke er moderne å sammenligne oss med. Dette må bety at visse fundamentale trekk i utviklingen er felles, og det kan kanskje være noe å lære ved å studere disse nærmere.

Den som har fulgt med i noe av alt det som i dag skrives om veksten av vitenskapen og mekanismene bak denne veksten, vil vite at såvel antallet publiserte arbeider som verdens «bestand» av vitenskapsmenn vokser eksponentielt og har gjort det de siste par hundre år. Antallet vitenskapsmenn dobles i løpet av 10—15 år eller sagt annerledes, av åtte vitenskapsmenn vil syv være nålevende. I dag filosoferer man over når denne raske vekst vil nå sin naturlige begrensning. Tegn i U.S.A. og Sovjetsamveldet tyder på at rundt 1 % av hvert årskull kan og dessuten vil være motivert for å komme helt fram til doktorgradsnivå, og denne grense er snart nådd i begge land.

Uansett hvordan en vil tolke slike tall, er det klart at slike samfunn ikke bare «kultiverer» kunnskapsdistribusjonen (skoleverket), men også kunnskapsinnhentingen (forskningen) og har derfor forlengst kommet til det stadium hvor forskningen er en vesentlig faktor for samfunnets videre utvikling. Samfunnet vil derfor nødvendigvis søke etter retningslinjer for støtten til forskningssektoren, og vil forsøke å bygge en forskningspolitikk inn i sine generelle politiske målsettinger. Nettopp fordi samfunnet retter søkelyset mot forskningspolitiske målsettinger og fordi det «kultiverer» en prosess som tidligere grodde vilt og i liten skala, så må *vi,* som fagfolk, avklare *våre* motiver og forsøke å skyve utviklingen i den retning vi mener er riktig.

Dr. philos Tore Olsen er professor ved Institutt for eksperimentalfysikk, N.T.H. Trondheim.

Det er ingen tvil om at Norge er på full fart inn i en situasjon hvor slike problemstillinger er aktuelle. I denne forbindelse kan det være av interesse å peke på at det norske samfunn, om ikke eksplisitt — så implisitt, har satt seg to mål med direkte virkninger for fysisk forskning. Vi har i realiteten bestemt oss for å utdanne en stadig økende del av våre ungdomskull på alle trinn i vårt skolesystem. Med fysikkens sentrale plass betyr dette raskt økende krav til de fysiske forskningsmiljøer ved våre læresteder, både kvantitativt og kvalitativt. Vårt samfunn er også i ferd med å bestemme seg for en rask utbygging av vår industri i mer kunnskapsbasert retning. Dette setter igjen spesielle krav til fysisk forskning. De av oss som er lærere burde tenke meget grundig på slike problemstillinger og burde prøve å forstå det samfunn som omgir oss især fordi et lite land er meget følsomt for feilgrep i utdannelses-systemet.

Hva skal vi diskutere? Hvilke mål ønsker vi å sette for norsk fysikk slik at vi kan løse de kvalitative og kvantitative problemer som ligger foran oss? Ønsker vi å diskutere problemene under en langtids-synsvinkel er vi henvist til de mer prinsipielle problemstillinger og til de strukturelle spørsmål, og la oss se litt på denne side av saken først.

Det er all grunn til å ta opp en diskusjon i Norge om hvilke kriterier vi bør legge til grunn for valg av disipliner og på valg av institusjoner ved utbyggingen av fysikken i Norge. Blant de hensyn som må veies mot hverandre ved en utdannelsesinstitusjon er f.eks.: I hvor stor grad skal interessene til «brukerne» av kandidatene tilgodesees ved valg av forskningsfelt og i hvor stor grad er det likegyldig hvilken disiplin kandidatene spesialtrenes på? I hvor stor grad skal undervisningsbehovet på de lavere trinn bestemme institusjonenes forskningsdisipliner? Hvor går skillelinjen mellom et harmonisk oppbygd spektrum av disipliner blant institusjonens lærere og den konsentrasjon i grupper som er noe av en livsbetingelse for et levende forskningsmiljø? På det internasjonale plan har man spørsmål som: Hvordan treffer man den rette balanse mellom internasjonalt samarbeid og maksimal nasjonal nytte?

Det kan også være grunn til å diskutere struktureringen av våre faglige organer. Det spørsmål som her reiser seg er hvordan vi ønsker våre faglige spørsmål skal behandles i fremtiden. Hvordan kan vi få en maksimal garanti for at alle de hensyn som må tas, finner sine talsmenn innenfor behandlingssystemet? Våre nåværende styrer og råd ble til en gang norsk forskning og kanskje spesielt den fysiske forskning så ganske annerledes ut enn i dag. En del reformer synes nødvendige, blant annet bør man knytte en fysikers uttalerett og medbestemmelsesrett i faglige spørsmål til hans faglige status og ikke til hans status i et eller annet stillingshierarki. Det er også en mangel på policy-formulenrende organer innen norsk fysikk, og det bør oppfordres til en løpende og offentlig policydiskusjon.

Men de fleste ønsker antagelig å diskutere norsk fysikk på kortere sikt: Hva gjør vi nå? For denne delen av diskusjonen er det innhentet og distribuert en del opplysninger om status i norsk fysikk ved universiteter og høyskoler. Opplysningene er gitt delvis av forskningsgruppene selv og delvis av NAVF's utredningsavdeling. Det innsamlete materiale gir en brukbar, dog ikke fullstendig, oversikt over personale bevilgninger og publiserte arbeider i de siste 10 år. Oversikten fra NAVF inneholder også kandidat-tall og meddelte doktorgrader i fysikk i tidsrommet 1950—1965. Det bør drøftes om det ikke bør utarbeides en mer fullstendig oversikt over norsk fysikk som ikke bare begrenser seg til undervisningssituasjonene. En slik oversikt og de forskjellige fysiske miljøers ønsker og behov kunne danne basis for en samlet utbygningsplan for norsk fysikk fra fysikernes egen hånd.

Til slutt bør nevnes to forhold som snares bør finne sin løsning, og som forøvrig gjelder flere fag enn fysikk. Et blikk på doktorgradsfrekvensen i fysikk forteller at den er skremmende lav. Vi bør derfor drøfte hva som kan gjøres for å legge forholdene bedre til rette for våre doktorander. Det er vel verd å overveie om vi overhodet vil kunne føre en stadig voksende del av våre unge fysikere helt til topps uten et strukturert «doktorgrads-studium», dsv. en ordning i retning av den amerikanske Ph.D. Det foreligger svenske planer i denne retning og et lignende forslag har vært foreslått av de matematisk-naturvitenskapelige fakulteter i Norge, men disse har ikke ført fram.

Dernest bør man vie oppbyggingen av levedyktige forskningsmiljøer ved undervisningsinstitusjonene stor oppmerksomhet. Det er mye som tyder på at våre forsøk på å bygge opp forskningsgrupper av høy internasjonal standard ikke lar seg forene med den ansettelsespolitikk og rekrutteringspolitikk som nå føres. Vi må få et system som tar hensyn til at det meste av fysisk forskning i dag foregår som gruppearbeid.

Haakon Olsen

Vekstsentra for fysisk forskning

Faget fysikk har gjennomgått en avgjørende differensiering, en oppdeling i selvstendige disipliner. Tenker vi på fagområder som kjernefysikk, faste stoffers fysikk, elementærpartikkelfysikk og atomfysikk er det i dag få tilknytningspunkter mellom disse. Det gjelder særlig den eksperimentelle del av fysikken. De teoretiske metoder som benyttes har tilknytningspunkter — de forskjellige disipliner lærer av hverandre — men ved de eksperimentelle undersøkelser benyttes oftest metoder og apparatur som er vidt forskjellige for de forskjellige fagområder.

En står derfor ikke fritt når det gjelder valg av fagområder i eksperimentell fysisk forskning ved våre universiteter og høgskoler. En må ofte begrense seg til eksperimentelle undersøkelser der en kan benytte apparatur som finnes på stedet. Anskaffelse av ny apparatur er begrenset av budsjettet, en vil ikke kunne anskaffe kostbar apparatur over alt for alle ønskede formål.

Men også den teoretiske fysikk er i noen grad bundet av de valgte eksperimentelle fagområder. God teori gjøres erfaringsmessig i tilknytning til gode eksperimenter i samme fagområde på samme sted. Den personlige kontakt mellom eksperimentalfysikeren og teoretikeren er av største betydning for de eksperimentelle og teoretiske resultater som oppnås.

Disse forhold har ført til dannelse av forskergrupper rundt om i verden. Også her hjemme har det utviklet seg grupper av forskere der eksperimentalfysikere og teoretikere arbeider i intimkontakt. Styrkning av disse forskergrupper og spørsmålet om opprettelse av nye er kanskje de mest brennende problemer innenfor norsk fysisk forskning i dag. En vesentlig faktor for forskergruppens levedyktighet er gruppens stabilitet. Gruppen må være stor nok til at virksomheten ikke nedsettes om et av medlemmene av gruppen drar utenlands for en tid.

For at forskergruppen skal kunne følge med i sin forskningsdisiplins utvikling, hvilket i praksis vil si at gruppen ekspanderer, må to krav være oppfylt:

1. Det må være mulig å skaffe til veie det eksperimentelle utstyr som er nødvendig til en hver tid. Dette betyr gjerne i praksis at kostbart eksperimentelt utstyr må skiftes ut med ennå mer kostbart utstyr.
2. Det må eksistere muligheter for å skaffe stillinger til de forskere som skal delta i den eksperimentelle og teoretiske forskningsvirksomheten.

Vanskeligheten ved å tilfredsstille disse to krav i dagens situasjon er åpenbar: Når det gjelder kostbart eksperimentelt utstyr skal flere forskergrupper innenfor forskjellige fagdisipliner på samme sted konkurrere om tildeling av budsjettmidlene. Det er også meget vanskelig å få bevilget stillinger som er bestemt for en bestemt forskergruppe. Med den universitets- og høgskolepolitikk som drives i dag har det vært lettere å få bevilget stillinger for fagområder som ikke er representert ved universitetet eller høgskole enn til styrking av allerede eksisterende forskergrupper.

Vi ønsker en økning av forskeraktiviteten i landet, og dersom vi også mener at dette gjøres best gjennom en økning av forskningsgruppenes virksomhet, melder spørsmålet seg om på hvilken måte forskningsgruppene skal styrkes. Dersom vi forutser en økning av bevilgningene til forskning i nærheten av den vi ønsker, skal denne økning benyttes til en samtidig styrkning av alle disipliners forskergrupper på alle steder? Uten tvil er det dette som vil komme til å skje dersom en vil følge den utvikling som har funnet sted hittil.

Etter mitt syn er en alternativ løsning med opprettelse av *vekstsentra for fysisk forskning* bedre. Dette vil forlange en fysisk faglig organisert virksomhet universiteter og høgskoler i mellom. Universiteter og høgskoler må gå sammen om en landsomfattende plan for utbygging av fysisk forskning. En må gå inn for å løse det meget vanskelige spørsmål om hvilke disipliner innenfor fysikken som skal utbygges på de forskjellige steder. Disse stedene blir de vekstsentra for vedkommende fagområde. Universiteter og høgskoler må på sin side støtte disse vekstsentra ved bevilgninger til apparatur og sørge for opprettelse av stillinger som er øremerket for vekstsentret.

Vårt forskningsmiljø er ikke alt for sterkt, internasjonalt sett, vi er få innenfor hvert fagområde. Et system av vekstsentra vil gjøre det

Dr. techn. Haakon Olsen er professor i fysikk ved Norges Lærerhøyskole, Trondheim.

mulig å få bygget opp en forskningsgruppe innenfor et gitt fagområde av noenlunde internasjonal klasse et eller annet sted i landet.

Det understrekes at forutsetningen for en opprettelse av vekstsentra må være at de representerer en tilvekst til vårt forskningsmiljø både med hensyn til driftsbudsjett og bevilgninger til stillinger. En kan ikke gå med på en beskjæring av bevilgningene til de eksisterende grupper for derved å skaffe midler til vekstsentra. Skal ideen om vekstsentra ha noen mening, må de gi en reell økning av vår forskningsvirksomhet.

Det bør også nevnes at denne ordning ville gi studentene store fordeler når det gjelder hovedfagstudiet. Studenten vil kunne søke til det vekstsentrum som representerer studentens interesseområde.

Det vil kreves noe av oss for å kunne realisere et slikt system. Det må foretas en landsomfattende vurdering av hvilke forskningsfelter i fysikken som kan og bør representeres i vekstsentra. Og — noe som kanskje vil falle enda vanskeligere — en må finne ut hvor de forskjellige vekstsentra skal ligge.

Vi bør ikke la tiden gå fra oss når det gjelder avgjørelser som angår vår forsknings framtid. Løsninger bør finnes, kanskje ved opprettelse av vekstsentra, kanskje på annen måte.

Bjørn Trumpy

Norsk deltagelse i internasjonalt samarbeid i ekspremental fysikk

Jeg har fått som oppgave å gi en kort orientering om norsk deltakelse i internasjonalt vitenskapelig samarbeid innenfor eksperimentell fysikk. Det er hensikten at mitt innlegg skal tjene som utgangspunkt for en diskusjon om dette samarbeidets positive og eventuelt negative sider og om den innsats som kreves her hjemme for at vi på en effektiv måte kunne utnytte dette internasjonale samarbeide.

La meg da begynne med CERN, som vel er den største og mest effektive organisasjon vårt land for tiden deltar i. CERN betyr oversatt fra fransk: Europeisk samarbeid i kjernefysisk forskning. Navnet er misvisende fordi det i dette tilfelle *ikke* dreier seg om *vanlig* kjernefysisk forskning, som har som mål å studere atomkjernenes struktur og egenskaper i et lavenergetisk område — i millionvoltområdet. I CERN studerer man som kjent de mange nye partikler som dannes ved omvandlinger under vekselvirkning mellom partikler i milliardvoltområdet.

De viktigste undersøkelser innenfor høyenergifysikken krever så store og kostbare akseleratorer at det blant de enkelte land bare er U.S.A. og Sovjet som har tilstrekkelige midler til å kunne bygge de virkelige betydningsfulle akseleratorer og gjennomføre et omfattende forskningsprogram med dem.

De europeiske land sto derfor ved slutten av 40-årene overfor den meget alvorlige situasjon at de i fremtiden ville bli utelukket fra dette nye viktige forskningsområde, og at mange av deres fremste vitenskapsmenn ville emigrere til de land som kunne by dem forskningsmuligheter på dette felt.

Det ble derfor snart erkjent av de fleste atomforskere i Europa at man i samarbeid mellom de enkelte europeiske nasjoner måtte finne en løsning på dette viktige problem.

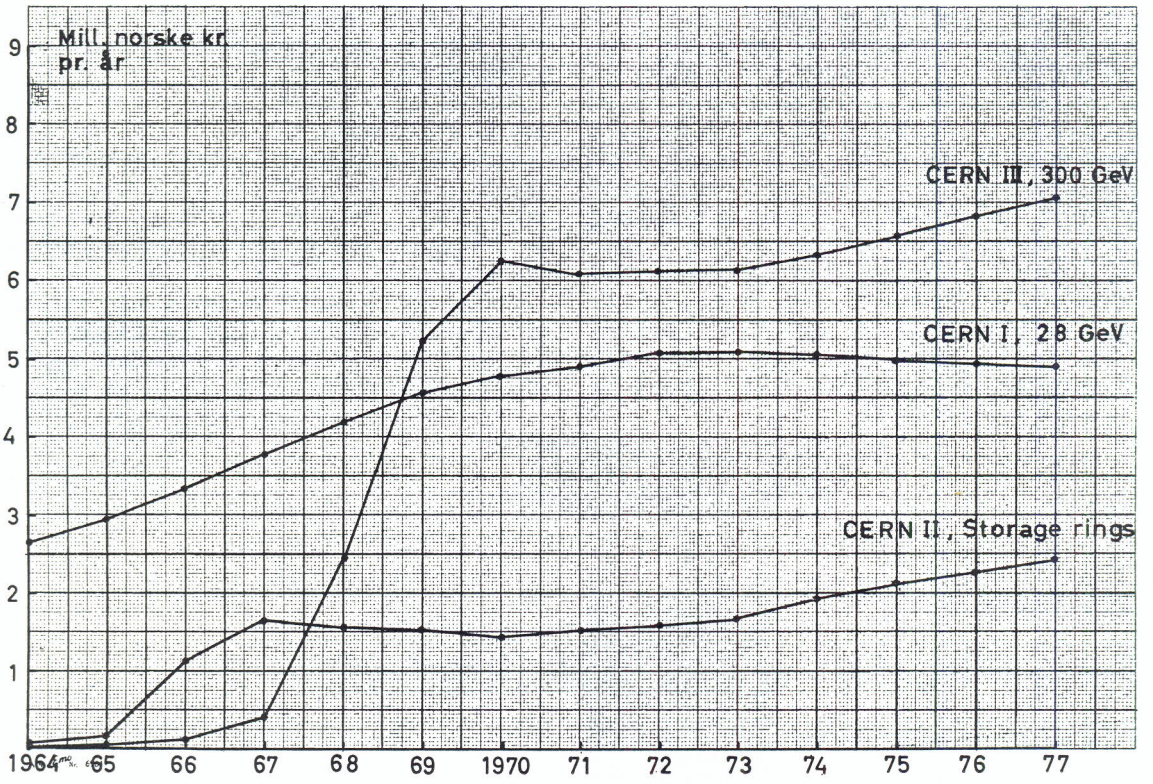
Resultatet er blitt den europeiske organisasjon CERN, som i Geneve hittil har bygget og tatt i bruk to akseleratorer: en konvensjonell 600 MeV synkrocyklotron, kalt SC, og en 28 GeV protonsykroton, kalt PS. Den store PS akselerator ble innviet og tatt i bruk i februar 1960.

Ved slutten av 1965 omfattet CERN's stab av vitenskapsmenn, ingeniører, teknikere, administrasjons- og laboratoriepersonale 2567 personer. Det er nå 13 medlemsland, som bidrar til å dekke utgiftene, og Norges andel av de ordinære utgifter er for 1966 fastsatt til 1,41%.

På møte i CERN's Council i juni 1965 ble det truffet endelig beslutning om at storage rings

---

Dr. philos Bjørn Trumpy er professor i fysikk ved Universitetet i Bergen.



skal bygges i samsvar med de fremlagte planer, og på rådets desembermøte erklærte alle medlemsland — unntatt Hellas — at de ville delta i dette prosjektet.

CERN's budsjett for 1966 er fastsatt til 145,86 mill. Sv.frs., og det norske bidrag til CERN's ordinære budsjett blir da for denne perioden kr. 3.414.000.

Budsjettrammene for 1967, 68 og 69 ble fastlagt til 160, 180 og 198 mill. Sv.frs.

Ifølge de fremlagte planer skal det i nærheten av de to storage rings bygges flere eksperimenthaller, som skal nyttes til studium av proton-proton kollisjoner. Dessuten skal det bygges en hall for eksperimenter med den 28 GeV protonstråling som er «fylt inn» i storage rings, hvilket vil skape muligheter for en bedre utnyttelse av CERN's protonsynkrotron (CERN I).

De totale byggeomkostninger for storage rings er beregnet til 250 mill. Sv.frs., fordelt over en byggeperioden på 6 år. I figur 1 er det eventuelle norske bidrag til dette prosjekt fremstilt i kurven merket CERN II. Denne kurven, som gir det norske bidrag i mill. kroner pr. år i 1965-priser, er tegnet opp under den forutsetning at prosjektet blir satt i gang i løpet av året 1965, og at vår bidragsprosent blir uendret. Ingen av disse forutsetningene er helt korrekte, da det har vist seg at prosjektet blir noe forsinket og at Hellas ikke vil delta. Som det fremgår av figuren, vil det norske bidraget pr. år variere fra 0,5 mill. kr. i 1965 til ca. 1,4 mill. kr. i 1970, da maskinen vil være fullført. Den årlige fordeling av utgiftene kan bli noe forskjellig fra den som er angitt i figuren, men det totale norske bidrag i løpet av seks års byggeperioden vil i alle tilfelle bli nær 6,1 mill. kr. I figuren er til sammenligning også angitt det årlige norske bidrag til CERN I (28 GeV PS) for årene 1964, 65, 66 og 67. Den videre utvikling er usikker, men en viss stigning av utgiftene er sannsynlig på grunn av visse forbedringer som etterhånden bør gjennomføres.

Hvis planene for den foreslåtte 300 GeV protonsynkrotronakselerator blir godtatt i slutten av 1967, vil denne maskin kunne stå ferdig til bruk omkring årsskiftet 1976—1977. En slik maskin vil være en hensiktsmessig videreutvikling av de allerede eksisterende akseleratorer. Den vil kunne produsere en meget intens fluks av sekundære partikler med momenter opp til 200 GeV/c. Denne akselerator vil også være et meget viktig hjelpemiddel ved utviklingen av den moderne

neutrinofysikk. Det er med rette blitt fremholdt at en konvensjonell akselerator av denne type, som gir høy strålingsintensitet ved relativt «lav» energi, og en storage rings maskin som gir høy energi og relativt liten intensitet, gjensidig utfyller hverandre og derved tilsammen dekker to forskningsområder som begge er av den største betydning for utviklingen av de fundamentale partiklers fysikk.

Hvis man antar at byggingen tar til i 1967 vil det norske bidraget pr. år i 1965-priser til dette prosjektet, CERN III, fremgå av figur 1. Forutsetningen er at de land som deltar i storage rings-prosjektet også vil delta i CERN III. Dette er imidlertid lite sannsynlig, og at eventuelt norsk bidrag vil derfor antagelig bli større enn det som er angitt i figuren.

Den største vitenskapelige betydning av den foreslåtte 300 GeV protonsynkrotron er at man ved hjelp av en slik akselerator vil kunne frembringe en stråling av sekundære partikler med langt større energi og intensitet enn tidligere, og det vil på denne måten bli åpnet et nytt viktig forskningsområde innenfor høyenergifysikken. Det vil være av stor teoretisk interesse å undersøke bl. a. den elastiske spredning av fundamentale partikler på protoner og neutroner ved meget høye energier, den multiple produksjon av mesoner ved høyenergetiske kollisjoner, strukturen av fundamentale partikler og fenomener fra neutrinofysikken.

Ved universitetene i Oslo og Bergen og ved Norges Tekniske Høgskole har man lenge vært beskjeftiget med kjernefysiske undersøkelser av forskjellig art. Den største gruppen, som er knyttet til Universitetet i Oslo, har som sitt hovedinstrument en van de Graaff generator på ca. 3 MeV, mens gruppene i Bergen og Trondheim disponerer van de raaff generatorer på ca. 1,5 MeV.

Det kan ennå gjennomføres viktige undersøkelser med disse maskiner, men mulighetene for å finne nye forskningsoppgaver er begrenset på grunn av akseleratorenes relativt lave maksimalenergi. Det er derfor helt nødvendig at man så snart som mulig planlegger det neste skritt i utviklingen av kjernestrukturforskningen i vårt land for å hindre stagnasjon innenfor dette viktige forskningsområdet.

De fysiske institutter ved universitetene i Oslo og Bergen og ved Norges Tekniske Høgskole foreslår at det blir anskaffet en Tandem van de Graaff generator, modell MP. Dette er en meget driftssikker generator, som kan akselere et stort antall forskjellige ioner. Energien kan varieres innenfor meget vide grenser, og man når opp i energiområder som hittil ikke har vært tilgjengelig for presisjonsundersøkelser. Anskaffelsen av en slik maskin vil derfor bringe vårt land frem i fronten av kjernestrukturforskningen og vil skape et stort antall nye forskningsmuligheter.

I de senere år har gruppene i Oslo og Bergen etablert et nært samarbeid med Universitetet i København, og har på denne måte fått anledning til å utnytte den Tandem-akselerator som er stasjonert i Risø til egne undersøkelser innenfor kjernefysikken. Fysisk institutt, Universitetet i Bergen har videre etablert et samarbeid med Fysisk institutt, Massachusetts Institute of Technology, Boston for å kunne utnytte den derværende 7,5 MeV akselerator. Det må understrekes at disse tiltak er av midlertidig natur og at de bare gir en begrenset hjelp i en kortvarig overgangsperiode.

Det bør i denne forbindelse understrekes at den *Tandem* som er foreslått anskaffet til landet, og som skal anbringes ved Universitetet i Oslo, ifølge planene skal være en nasjonal maskin, som også skal kunne utnyttes av grupper fra andre vitenskapelige institusjoner i vårt land, som f.eks. Universitetet i Bergen og Norges Tekniske Høgskole. En slik ordning vil vel best kunne etableres ved at det opprettes et styre for den nye akselerator med medlemmer også fra de nevnte institusjoner.

Jeg vil tilslutt omtale den europeiske organisasjon ESRO — European Space Research Organization — som er opprettet i den hensikt å fremme europeisk samarbeid i romforskning.

Norge er ikke medlem av denne organisasjon, idet våre myndigheter har holdt seg avventende av hensyn til de mange andre forpliktelser de har i forbindelse med landets forskningsvirksomhet. Man vil gjennomføre en fastere utbygging av forskningen her i landet før man tok standpunkt til spørsmålet om medlemsskap i ESRO. I 8-års perioden 1963—1971 ville en eventuell norsk medlemskontingent til ESRO ha vært ca. 35 mill. kr. Imidlertid tør det vel sies at Norge gjennom sitt samarbeid med ESRO i noen utstrekning har kunnet utnytte denne institusjon. Dette skyldes naturligvis i første rekke at vårt land i nord har områder innenfor nordlyssonen som egner seg meget godt som baser for oppskytning av raketter som skal nyttes ved studium av bl. a. den solare partikkelstråling og dens sekundære effekter. Det kan i denne forbindelse nevnes at skytefeltet på Andøya i løpet av 1965 er blitt betydelig utvidet med et større anlegg, som i det vesentlige er bekostet av ESRO. Dette nyanlegget er på det nærmeste ferdig til bruk, men det er ennå usikkert i hvilken utstrekning

Norge får delta med egne forsøk under de kommende oppskytninger. Det er videre for ESRO-midler under opprettelse av telemetreringsstasjon i Tromsø og en på Svalbard for data fra satelitter som skal foreta ionosfæreregistreringer.

Det er inntil idag foretatt en lang rekke oppskytninger av raketter fra det norske skytefeltet på *Andøya,* og en rekke norske grupper fra Universitetet i Bergen, Det norske institutt for kosmisk fysikk og Forsvarets Forskningsinstitutt har i samarbeid med NASA deltatt med apparatur for undersøkelse av forskjellige fenomener som opptrer under perioder med solaktivitet. Vår gruppe fra Bergen har for eksempel lagt særlig vekt på å måle fluks og energispektrum av solare protoner. De norske utgifter til disse formål, som er dekket av Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd, var i 1965 kr. 1.350.000.

Det kan i denne forbindelse nevnes at norske grupper i samarbeid med en dansk gruppe etter innbydelse vil delta i instrumenteringen av satellitten *ESRO I,* som skal skytes opp fra California høsten 1967 med en bane som går over nordpol og sydpol. I hele maksimumsåret 1968 vil denne satellitt etter planen bevege seg i en bane fra pol til pol, og vi håper å få samlet et omfattende og verdifullt materiale når det gjelder den solare stråling. Her skal understrekes betydningen av en sammenligning mellom disse målinger og de permanente registreringer av den kosmiske strålingens forskjellige komponenter som utføres i Bergen.

Noen vil kanskje si at vårt land utnytter ESRO på en tilfredsstillende måte når det, uten å være medlem av denne organisasjon, deltar såpass aktivt i et av dens viktigste prosjekter. På den annen side kan det vel også hevdes at når vårt land stiller til disposisjon for ESRO et så unikt laboratorium som Nord-Norge er for undersøkelser over solar stråling, så bør vi også få noen fordeler av dette.

Vi må iallfall ikke komme dit hen at Norge i fremtiden blir en ren service-nasjon for ESRO, en nasjon som stiller til disposisjon for denne organisasjon verdens kanskje beste områder for ionosfæreforskning, og som for betaling lager utskytningsbaser og laboratorier for ESRO, uten å kunne delta aktivt i det vitenskapelige program. I dag inntar vi en mellomstilling, men vi må så snart som mulig få en klar stilling i samarbeidet, og dette kan neppe skje uten at vårt land blir medlem av ESRO.

Sam Eyde og historien om de nitrogenholdige stoffer

Jostein Knutsen

I anledning av at det i år er hundre år siden Sam Eydes fødsel, kan det være grunn til å se litt nærmere på Birkeland og Eydes metode i historisk sammenheng.

Etter oppfinnelsen av kruttet i Europa i 1350, ble det behov for mere og mere salpeter. Kalisalpeteren (kaliumnitrat) ble importert fra jordleier i India. Men behovet økte etter hvert meget sterkt vesentlig på grunn av de mange kriger, slik at det ble ugjørlig å skaffe seg nok fra India. Man lærte seg da til å fremstille salpeter ved forråtnelse av animalske og vegetabilske stoffer. Selv om metodene etter hvert ble forbedret, ble det fortsatt en tungvint fremstillingsmåte, og noe særlig salpeter til overs for gjødsling ble det ikke før man fikk i gang salpeterkokerier i Chile fra omkring 1830. Den viktigste bestanddel av Chilisalpeteren er salpetersur natron (natriumnitrat). Salget av Chilisalpeter økte i årene før århundreskiftet raskt, og man ble klar over at om det ikke ble funnet andre nitrogenkilder, ville man få alvorlig mangel på nitrogen.

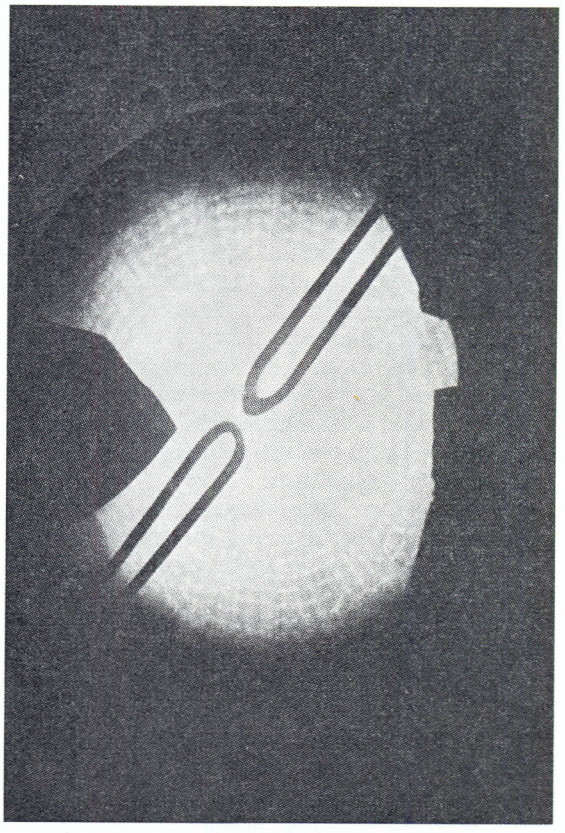
Det var jo da nærliggende å tenke seg atmosfæren brukt som kilde. Men som bekjent er det svært få planter som kan nyttiggjøre seg nitrogen i gassform. Det gjaldt derfor å få nitrogenet til å reagere med andre stoffer slik at det ble mulig å få et flytende eller fast produkt som plantene er i stand til å absorbere via sine røtter.

Det er sannsynlig at Priestley fikk dannet nitrogenoksyd ved elektriske utladninger allerede så tidlig som omkring 1770. I 1784 fremstilte Cavendish nitrogenoksyder som oppløst i vann ga salpetersyre. Den tyske fysikeren Julius Plücker (som vel er best kjent for sine ligninger) greidde i 1861 å få oksydert relativt meget av luftens nitrogen ved hjelp av induksjonsgnister i et magnetfelt.

I 1903 greidde den tyske professor Adolf Frank å fremstille kalsiumcyanamid i store mengder til gjødsel. Råstoffene var kalsiumkarbid og nitrogen. Metoden ga et relativt rimelig produkt, og man fikk etter hvert fabrikker over hele verden, også i Norge.

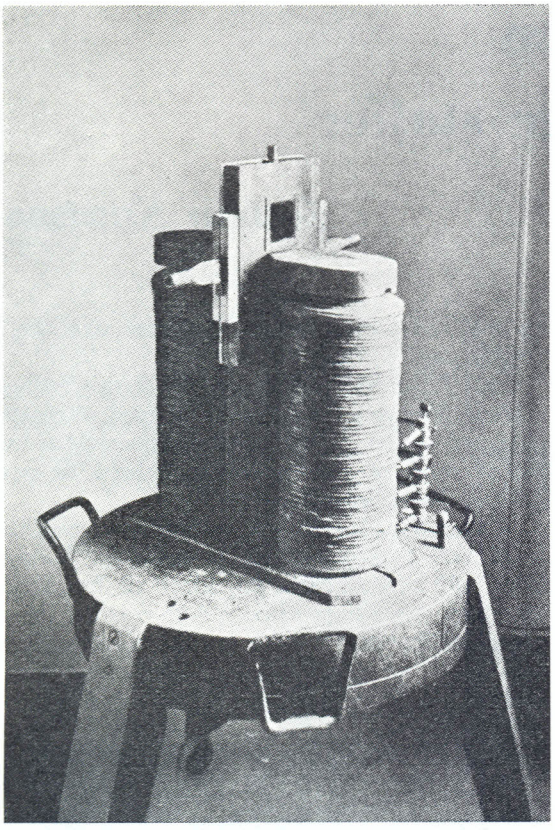
Både Lord Rayleigh og Sir William Crookes arbiedet omkring århundreskiftet med nitrogenoksydfremstilling ved hjelp av lysbuer. Men utbyttet sto ikke i noe rimelig forhold til den anvendte energimengde.

Tilsvarende forsøk ble drevet i Amerika, Frankrike, Tyskland og Sveits. Dette var da også Eyde fullt oppmerksom på. Ideen til Birkeland og Eydes metode er således ikke original, men det gjør det likevel ikke mindre imponerende



Den Birkeland-Eydeske flamme

Can. reol. Jostein Knutsen er lektor ved Luftkrigsskolen, Trondheim.



Birkeland-Eyde. Forsøksovn.

at de greidde å gjøre metoden økonomisk forsvarlig for industrielt bruk. Det var en rekke utenlandske storselskaper som la ned meget arbeid og penger for å løse problemet, f.eks. Badische anilin og sodafabrikk som den gang hadde verdens største kjemiske industri.

Det som ser ut til å ha vært felles for disse forsøkene, var at man benyttet seg av en rekke små elektriske utladninger. Men på grunn av dette ble apparaturen relativ komplisert og tilsvarende lite driftssikker.

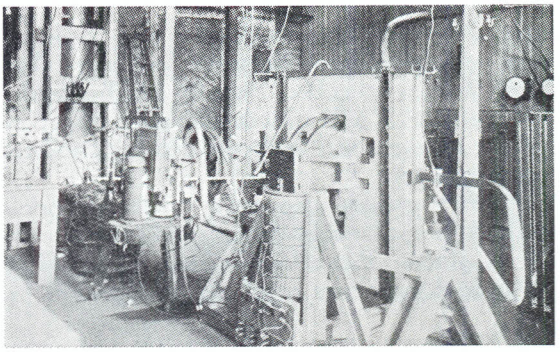
Det later til at Eyde allerede fra begynnelsen av har vært klar over at det gjaldt å få i stand store utladninger, og at apparaturen måtte være enkel og robust.

I 1903 inntraff så det berømte møte mellom Birkeland og Eyde hos statsminister Gunnar Knudsen. Da Birkeland i samtalens løp spurte Eyde hva han beskjeftiget seg med, fortalte Eyde om sin interesse for nitrogenproblemet, og at han ønsket seg det største lyn som kunne skaffes på jorden. Birkeland fortalte da om sitt misslykte forsøk med sin elektriske kanon i Universitetets festsal. Da Birkeland hadde koplet strøm til kanonen, inntraff en kortslutning, og gnisten som slo over ble trukket ut til siden av noen kraftige elektromagneter slik at gnistens overflate ble meget stor. Eyde skjønte da at han her kanskje hadde den flammen han var på jakt etter. Etter at Eyde ytterligere hadde redegjort for nitrogenproblemet, besluttet Birkeland og Eyde seg for et samarbeide for løsning av probelmet. Det bør vel gjøres utrykkelig oppmerksomt på at før møttet hos Knudsen, hadde disse spørsmål opptatt Birkeland lite eller intet.

Det ble så satt i gang en rekke forsøk som Eyde forteller detaljert om i sin bok: Mitt liv og mitt livsverk, Gyldendal Norsk Forlag, Oslo 1939.

Det endelige resultat ble en ovn med en vekselstrømslysbue på 5000 volt. I et kraftig magnetfelt antok buen form av en flat, rund skive. Gjennom buen blåste man luft som forbrant til nitrogenoksyd. Nitrogenoksydet ble oksydert og oppløst i vann, slik at resultatet ble salpetersyre. Ved reaksjonen med kalkstein fikk man så den nå så berømte kalksalpeter eller Norgessalpeter. De første anleggene for industriell drift ble åpnet på Notodden i 1908, senere fulgte utbyggingen på Rjukan.

I dag foregår fremstillingen av de nitrogenholdige stoffer også i Norge via Haber-Boschsyntese. I 1909 oppdaget Haber at ved hjelp av porøst jern som katalysator og under høyt trykk kunne nitrogen og hydrogen reagere med hverandre og gi en stor prosent ammoniakk. Hvordan man så videre går frem for å få fremstilt de ønskede nitrogenholdige stoffer kan man finne i en hvilken som helst større kjemibok. Men en annen ting som kanskje er mindre kjent, er at Haber-Bosch-syntesen utvilsomt hadde betydning for varigheten av første verdenskrig. Før denne krigen var det fortsatt nitratavleiringene i Chile som var den viktigste nitratkilde. Nitratene blir som bekjent ikke bare brukt til gjødsel,



Forsøksstasjonen veå Frognerkilen, 5 kW-ovnen.

men også til fremstilling av eksplosiver. Salpetersyre er nødvendig for fremstilling av TNT (trinitrotoluen), nitroglycerol, nitrocellulose og flere andre kjente sprengstoffer. Begge de krigførende parter forsto betydningen av å ha kontroll over skipsleia til Chile. Og allerede i november 1914 møttes britiske og tyske flåtestridskrefter til kamp ved Coronel utenfor kysten av Chile. Britene tapte og flyktet til Falklandsøyene. Her ble flåten komplettert. Da de igjen tok opp kampen, led tyskerne avgjørende tap, som for resten av krigen avskar dem fra nitratilførslene fra Chile.

Innen industrikretser har Sam Eyde fått sin selvskrevne plass. Hans arbeid for å danne grunnlaget for Norsk Hydro er fullt annerkjent. Når det gjelder Eydes andel i utarbeidelsen av Birkeland-Eydes metode, har jeg inntrykk at at Eydes innsats ufortjent er blitt redusert noe. Det er forbløffende hvor lett man springer over hans navn i litteraturen.

Romforskning i Vest-Europa

De to store europeiske romfartsorganisasjonene er ESRO (European Space Research Organization) og ELDO (European Space Launcher Development Organization).

ESRO's oppgave er å utvikle satellitter. Det er meningen at man skal få skutt ut en satellitt med amerikansk bærerakett i mars 1967. Satellitten skal måle stråling og solaktiviett. I siste halvdel av 1967 skal det skytes opp en ny satellitt som skal gjøre målinger i jonosfæren over Nordpolen. I oktober 1968 skal satellitten HEOS skytes opp fra Cape Kennedy under en periode med stor solaktivitet. I 1970 eller 1971 håper man å få skutt opp den såkalte LAS-satellitten med en rakett utviklet av ELDO. LAS-satellitten er et stort astronomisk observatorium.

ELDO arbeider nå med utviklingen av bæreraketten Europa I. Storbritannias trussel om å trekke seg ut av samarbeidet, har skapt en del problemer. Raketten vil sannsynligvis være ferdig utviklet i løpet av 1969. Raketten ELDO — B 2 er planlagt ferdig utviklet i 1970. Denne raketten er ganske stor, men vil ikke kunne måle seg med tilsvarende amerikanske og sovjetiske raketter.

Norge er ikke medlem av hverken ESRO eller ELDO. Derimot er Norge med i kommunikasjonssatellittkonsortiet INTELSAT.

De vest-europeiske romfartsindustriene har slått seg sammen i EUROSPACE.

K. J. K.

Norsk atomforskning?

Det synes urasjonelt at Norge, som har vannkraftreserver for 15—20 år fremover, skal satse på utvikling av egne reaktoranlegg, skriver tidsskriftet Norges Industri, som er et organ for Norges Industriforbund. Med våre beskjedne økonomiske muligheter må det være riktigere å prioritere forskning på andre områder, hvor forholdene ligger bedre til rette, skriver bladet som avslutter slik:

«Selvsagt må det fortsatt drives atomforskning i Norge. Atomforskning er en integrerende del av moderne vitenskap. Vi må også særge for å følge med i den internasjonale utvikling av atomenergien, slik at vi kan ha den nødvendige kompetanse til å foreta de riktige valg når våre vannkraftreserver er oppbrukt. Men skal atomforskning ha en industriellt nyttebetonet målsetting, må den nøktert vurderes i relasjon til andre forskningsoppgaver og industriens produksjonsinteresser, og dens omfang må svare til dens antatte relative betydning.

BØKER:

E. Winstrøm-Olsen: Vejledninger i Fysiske Øvelser for Danmarks Ingeniørakademi — Maskinafdelingen.
Akademisk Forlag 1965. Pris kr. 19,75.

Bokens første sider inneholder orientering om arbeidet i fysikklaboratoriet ved D. I., samt retningslinjer for rapportskrivning, med et eksempel. Mesteparten av dette kan godt sies å være almengyldig, og vil uten videre kunne overføres til norske forhold.

I resten av boken beskrives 21 laboratorieøvelser fra forskjellige grener av fysikken, med hovedvekten på mekanikk, elektrisitetslære og magnetisme, elektronikk, akustikk og bølgeoptikk. Den teoretiske bakgrunnen for øvelsene er tatt med i nødvendig utstrekning, for øvrig er utførelsen av forsøkene beskrevet i detalj, med svært gode og illustrerende figurer. En får innføring i planlegging av en sammensatt måling, samt anvendelse av usikkerhetsberegning.

Etter undertegnedes mening er de fleste av disse eksperimentene vel egnet for undervisning, bortsett fra et par tilfelle hvor en benytter en nokså omstendelig apparaturoppstilling for å undersøke en forholdsvis enkel fysikalsk effekt.

Såvel «klassiske» som mer «moderne» eksperimenter er beskrevet. Til den siste kategori hører forsøk med ultralyd, halvledere og mikrobølger. Undertegnede har ikke kunnet påvise trykkfeil av alvorlig karakter, og er stort sett enig i bruken av symboler og enheter, bortsett fra at lydhastigheten nokså uvanlig blir betegnet med symbolet h.

Boken er et verdifullt bidrag til den forholdsvis begrensede litteratur som finnes på dette området, og den vil være av interesse for alle som driver laboratorieundervisning i fysikk på høyskole- og universitetsnivå.

Kaare Stegavik

R. J. Seeger and G. Temple: Research Frontiers in Fluid Dynamics.
(Bind 15 i serien Interscincecience Monographs and Texts in Physics and Astronomy). Interscience 1965.

Denne samlingen av oversiktsartikler tar sikte på å gi et utsyn over gass- og hydrodynamikkens fascinerende problemer. Det er et ærgjerrig mål siden den forutsetter innblikk i matematikerens, ingeniørens, fysikerens, meteorologens og oseanografens arbeidsfelter. Derfor skifter også synsfeltet raskt i de 20 artiklene, men fremstillingen er ikke av den grunn overflatisk. Derimot er den meget inhomogen. F.eks. er artiklene om Boltzmannlikningen og om meteorologi korte og elementære, mens Wehausens oversikt over overflatebølger forsøker å få med alt og avslutter med 35 sider referanser! Kvaliteten synes også å være varierende. D.ter Haar gir en utmerket fremstilling av lavtemperaturfenomener (bl.a. med et avsnitt om uløste problemer), mens H. S. Greens artikkel om molekylær væsketeori er etter min mening mindre bra og subjektiv (Uhlenbecks og Cohens banebrytende arbeider er overhodet ikke nevnt).

Leseren antas, ifølge forordet, å være den vitebegjærlige student, allerede fortrolig med hydrodynamikkens mest elementære deler. Ikke alle artiklene (f.eks. den ovennevnte om overflatebølger med 637 referanser), og heller ikke prisen (230 sh.!) synes passe denne kategori. Men forskere innen et av feltene vil kunne orientere seg i nabodisiplinene med stort utbytte. To utfordrende problemer savner jeg i kolleksjonen: mikroskopisk teori for lyd og turbulens.

Per Chr. Hemmer

Edward L. O'Neill: Introduktion to Statistical Optics. Addison-Wesley 1963.
174 sider. Pris $ 7.50.

Titelen til tross er boken vesentlig en behandling av klassisk optikk med metoder fra kommunikasjonsteorien. Fremstillingen understreker sterkt fordelene ved å betrakte ethvert optisk instrument som et transformasjonsledd mellom objekt- og billedside.

Instrumentet tilordnes således en transferfunksjon som uttrykker dets virkning som filter for rumlige frekvenser. Billeddannelsen beskrives både geometrisk (på matriseform) og ved diffraksjonsteori (ved hjelp av Greens funksjon). Spesielt er det besnærende å se hvordan den enkle matriseformalismen inneholder hele den brysomme geometriske optikk med alle dens iboende aberrasjoner.

Optimal gjengivelse av objektet m.h.t. oppløsning, skarphet og strukturlikhet er avhengig av et kompromiss, og er at natur statistisk. Denne egenskapen til avbildningen illustreres ytterligere ved studier av støy p.g.a. korndannelse i bildet. Selve feltets statistikk tangeres så vidt over ti sider koherensteori, og teorien for delvis polarisert lys tar til slutt hensyn til det vektornatur. To appendicer skisserer Fourier-Bessel-transformasjoner og antyder sammenhengen mellom koherens- og entropibegrepene

Selv om presentasjonen av de til dels meget frittstående kapitlene er kortfattet, så er den ikke desto mindre god. Som en innledning til moderne metoder i klassisk optikk er boken velegnet. Dens aktualitet be-

grenses likevel av de store fremskrittene i optisk filtrerings- og kommunikasjonsteknikk som laseren har bidratt til de siste par årene.

Svein Otto Olsen

H. J. J. Braddrick: Vibrations, Waves, and Diffraction.
McGraw-Hill Publishing Comp. 1965.

Boken behandler de grunnleggende aspekter av svingningslæren, slik som frie- og tvungne-svingninger, koblede svingninger og bølger. Beskrivelsen bygges opp ut fra mekaniske effekter, men videreføres i en viss grad til også å gjelde elektromagnetisk svingnings- og bølgelære. Innholdet i boken kan for såvidt betegnes som et ordinært opplegg til innføring i svingnings- og bølgelære på høgskole- og universitets-nivå, og det forutsettes matematiske forkunnskaper i differensial og integralregning.

Forfatteren opplyser at det teoretiske innhold bygger på et undervisningsopplegg ved «Honours school at Manchester», og boken bærer preg av å være et forelesningsreferat. Den er en god matematisk beskrivelse av de fenomer det gjelder, men foreleserens kommentarer, i form av fysikalske utdypelser, er i det store og hele sparsomme.

Av spesielle ting kan nevnes at resonansforhøyelsen Q er innført, men en savner de tilsvarende generelle koordinater for dempning og frekvens. Dette fører til at resonanskurvene ikke får en framstilling av generell karakter. Jeg ville også ønske en noe fyldigere beskrivelse av bruk av randbetingelser på fysikalske problemer. Dette er erfaringsmessig vanskelig stoff, og bruk av flere eksempler ville utvilsomt gi studentene en bedre forståelse for problemene.

Disse bemerkninger forhindrer absolutt ikke at boken kan anbefales som støttebok for studenter som følger forelesninger i svingnings- og bølge-lære ved våre universiteter og høgskoler.

Asbjørn Solheim

Richard Becker: Theorie der wärme.
Heidelberger Taschenbücher Band 10,
Springer-Verlag. 1966, 315 s. Pris DM. 10.80.

Boken behandler foruten likevektstermodynamikk også klassisk statistisk mekanikk, kvantestatistikk, reelle gasser, faste stoffer (gittersvingninger og orden-uorden), fluktuasjoner og Brownske bevegelser og til sist irreversible prosesser.

Den er lagt opp som en lærebok og starter helt på bunnen. Den er riktig lettlest og grei. Gjennom hele boken blir prinsippene fulgt av instruktive anvendelser. Foreliggende utgave er opptrykt av førsteutgaven som kom i 1955. Henvisningen til andre lærebøker er således nokså ufullstendig. En annen svakhet er at det ikke finnes regneoppgaver i boken.

Helhetsinntrykket er at dersom en er villig til å lese tysk så er det en anbefalelsesverdig bok i varmeteori som her kommer i billigutgave.

Trygve S. Nilsen.

Eva Steffansson: Fysik. Elektronhöljen och atomkärnor.
Akademiförlaget-Gumperts, Gøteborg 1963,
264 s. sv. kr. 27,—.

Eva Steffansson er rektor for Tekniska Gymnaset I i Göteborg, og boken er et produkt av undervisningen i atomfysikk der — med et vellykket resultat.

I hovedsaken er boken av beskrivende natur, men supplert med endel forholdsvis enkel matematikk. Framstillingen legger an på å vise hvordan det eksperimentelle erfaringsmaterialet føres til nye teorier. Dessuten beskrives de vanlige kjernefysiske måleinstrumentene og noen tekniske anvendelser. Bokens første tredjedel behandler Bohrs halvklassiske atommodell. De neste 20 sidene er viet partiklenes dobbeltnatur og litt innledende bølgemekanikk. Etter et par avsnitt om relativitetsteorien følger siste halvpart av boken med kjernefysikk. Elementær-partiklene er også så vidt omtalt.

Svært meget er kommet med på de ca. 250 sidene og framstillingen er meget klar og grei. Et par ting som vel burde vært nevnt, men som er utelatt, er forskjellen på fermioner og bosoner (Pauliprinsippet for elektroner er nevnt), og det differensielle virkningstverrsnitt som er et av de viktigste begrepene i eksperimentell kjernefysikk. Det henvises også stadig til kapitler i «Ellären» uten at det noe sted er nevnt om dette også er en bok eller bare et kompendium ved skolen.

Boken gir et godt alment fundament i kjernefysikk og anbefales som en første introduksjon til emnet, for alle med litt kjennskap til matematisk formelspråk.

F. Bakke.

Walter Hauser: Introduction to the Principles of Mechanics.
Addison-Wesley, 515 s. $ 11,75.

Klassisk mekanikk benyttes i fysikkundervisningen i dag i stadig større grad til å introdusere begreper og metoder som på et senere trinn trengs til de mer «moderne» områdene som kvante-mekanikk, høyenergifysikk og generell relativitetsteori. Denne boken går i denne retningen lenger enn de aller fleste hittil utgitte lærebøker i mekanikk. Om for eksempel Diracs bra

og ketbetegnelser er til noen spesiell fordel for mekanikken kan sikkert diskuteres. Men i den klassiske mekanikken kan de nye begrepene gis et enkelt anskuelig innhold, og når de senere dukker opp igjen i sin «moderne» sammenheng er de allerede velkjente.

Emnevalget følger det tradisjonelle mønster med en introduksjon til vektorregningen som innledning. Deretter følger i tur og orden kinematikk, dynamikk med Lagranges og Hamiltons bevegelseslikninger, sentralbevegelse og stive legemers bevegelse. Til slutt kommer kapitler om små oscillasjoner, den svingende streng og som avslutning den spesielle relativitetsteori. Den kanoniske transformasjonsteorien behandles ikke.

Underveis benyttes anledningen til å innføre ko- og kontra-variante komponenter, matriksregning, differensialgeometri for krumlinjete koordinater, Diracs δ-funksjon, de Broglie bølger, Paulis spinnoperatorer, Hermiteske matriser, operatorer og egenverdier, polariserte bølger, fotoner og nøytroner m. m. Men gruppeteorien er utelatt. Bare i en øvingsoppgave er begrepet gruppe definert.

Alt er detaljert og grundig behandlet, ofte illustrert med enkle eksempler og utregninger. Hvert kapitel avsluttes med en hel serie oppgaver, annenhver med løsning.

Politikken i registeret er litt uvant. Emnene underslås i registeret inntil de er noenlunde fullstendig behandlet. For eksempel innføres matriksbegrepet, riktignok i en noe innskrenket betydning, allerede på side 18, mens det ifølge registeret ikke opptrer før på side 76.

Boken gir en god innføring i mekanikken på et midlere nivå med hovedvekt på den matematisk-teoretiske siden.

F. Bakke.

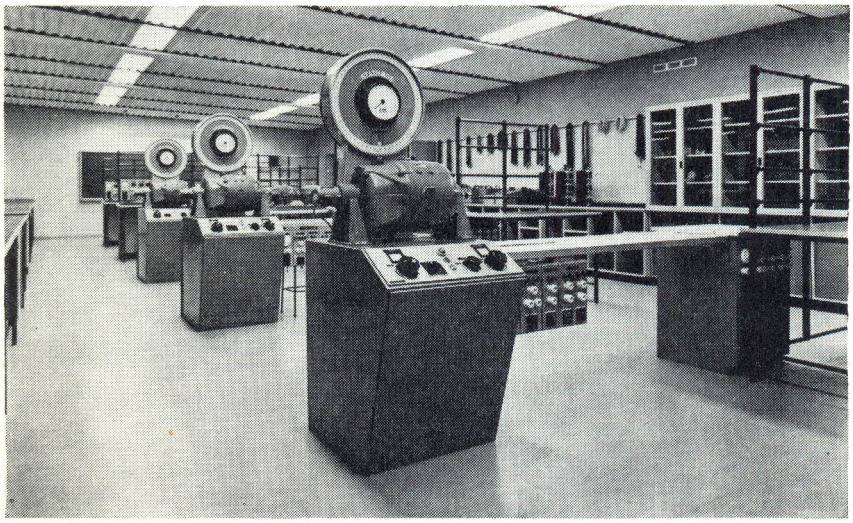
Britt Hartmann: Laser — det nye lyset. Oversatt av Jakob Sandstad. Gyldendals Fakkelbøker 1966. 120 sider. Pris pr. 12,50.

Bølgen av sensasjonshungrig «dødsstråle»-journalistikk som laseren utløste i sine første år, synes nå å dø ut til fordel for mer saklig informasjon. Her vil denne boken kunne bidra til en «koherent» opplysning av publikum. De grunnleggende prinsippene for laserens virkemåte behandles ved hjelp av instruktive figurer og uten synderlig bruk av matematikk. Senere følger en beskrivelse av de alminneligste typer lasere. Siste halvdel av boken beskjeftiger seg med laserens anvendelser. Stort sett er fremstillingen vederheftig og relevant, men utlegningene om øyets medisin faller på siden.

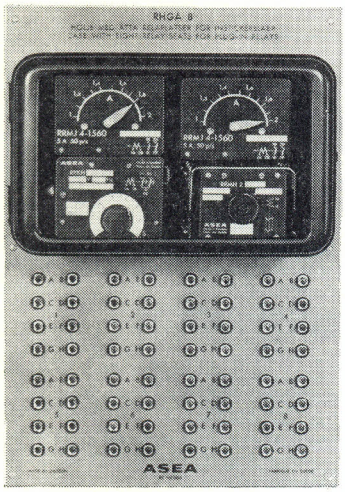
Boken er holdt i en løs, til dels tørrpratende stil, hvor oversetteren dessverre ofte synes å innskrenke seg til en fornorskning av den svenske originalteksten. Dette inntrykket bestyrkes ved ord som «diskrepans» (engelsk: discrepancy). Mangel på presise formuleringer har forledet forfatterinnen til unødige gjentakelser, upresisheter, og uklare til dels feilaktige utsagn. F.eks. er den seiglivede «nøyaktige overensstemmelse i fase og frekvens» mellom det stimulert emitterte og det innfallende foton ute og går igjen. Ellers leser en til sin forbauselse at dannelsen av et hullelktron-par frigjør energi.

Man savner den store, perspektivdannende flukt over fremstillingen, som er gitt en slags halvpopulær form. For lesere på artiumsnivå vil likevel boken kunne tjene som en orientering. Den bør leses med en våken kritisk sans, som imidlertid vil belønnes for anstrengelsen.

Svein Otto Olsen



Laboratorium med elektriske momentvekter



Relésentral med reléer av innstikkstypen for enkel tilkopling med bananstikker.

ASEA

Komplette utrustninger for undervisning — forskning — laboratorier og demonstrasjoner.

Dessuten leveres laboratorieapparater som: nettmodell, belastningsmotstand, belastningskondensator, belastningsreaktor, kontaktorer og instrumenter.

A/S Per Kure

Norsk Fysisk Selskap

Formann: Professor dr. Njål Hole

Styre: Direktør O. Chr. Böckman
Professor dr. Aadne Ore
Professor dr. Harald Trefall
Dr. philos Tormod Riste

Selskapets sekretær: Ingerid Rognes,
Fysisk Institutt, N. T. H.,
Trondheim

Postgirokonto: 88388 **Bankgirokonto:** 236880 - 285

Fra Fysikkens Verden

Redaktør: Professor dr. Haakon Olsen, N. T. H.

Redaksjonskomite: Rektor Finn Berntsen, Sverresborg skole, Trondheim.
Universitetslektor Wilhelm Løchstøer Universitetet, Blindern.
Dr. philos. Tormod Riste, Institutt for Atomenergi, Kjeller.
Professor Steingrim Skavlem, Universitetet i Bergen.
Dr. techn. Helge Øverås, CERN, Genéve.

Problemspalten: Siv.ing. Richard R. Solem, N. T. H.

Teknisk medarbeider: Siv.ing. Knut Lønvik, N. T. H.

Annonser: Siv.ing. Knut Lønvik, N. T. H.

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

Ekspedisjonens adresse: Fra Fysikkens Verden,
Fysisk Institutt, N. T. H. Trondheim.

Postgirokonto: 10472 **Bankgirokonto:** 236545-28

GYMNASIASTER OG STUDENTER!

Dere kan få

Fra Fysikkens Verden

til redusert pris: kr. 10,— pr. år.

Abonnement kan tegnes enten ved postverket

eller ved direkte henvendelse, se adressen ovenfor.

Aktietrykkeriet i Trondhjem