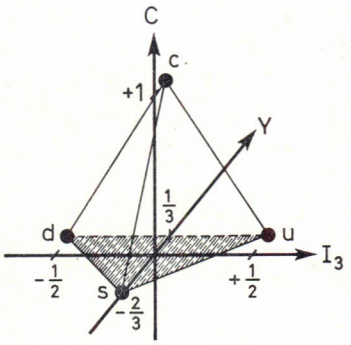
Fra Fysikkens Verden

UTGITT AV NORSK FYSISK SELSKAP

INNHOLD

Redaktørskifte i FFV	73
Seminar om realfagundervisningen	73
Nye medlemmer	74
Medlemskontingenten 1977	74
Fysikk og energi-kurs	74
Partikler med sjarm	75
Magnetisk ladete partikler	78
Fra fordums målsystemer til det internasjonale enhetssystem	83
Strålingsskader i «arvemolekylene»	88
Bøker	77, 87, 95

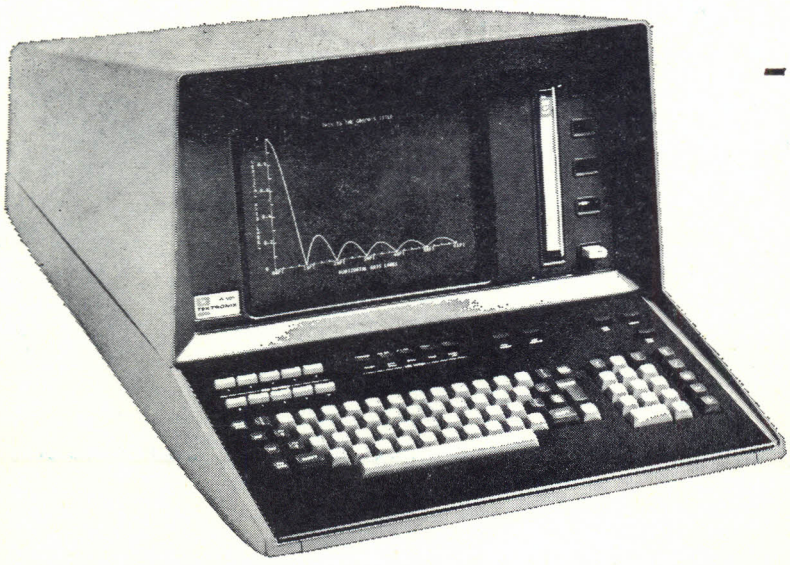


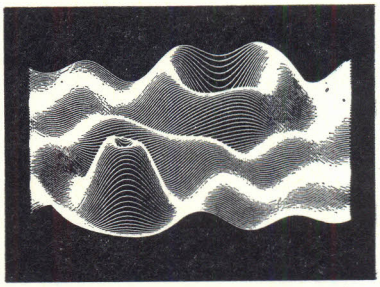
Fra artikkelen: Partikler med sjarm. (Se side 75).

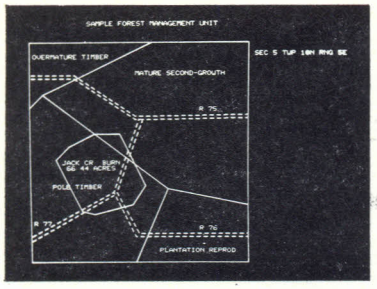
Nr. 4 - 1976
38. årgang

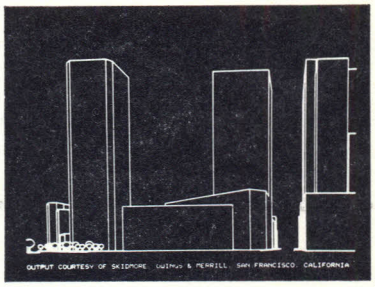
KOMMUNIKASJON RRA 67

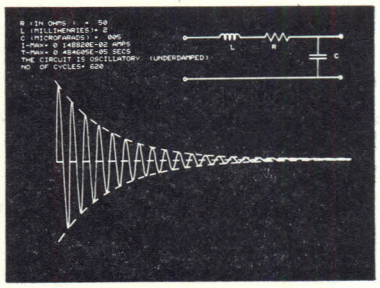
- et bilde sier mer enn tusen ord....











TEKTRONIX®

GRAFISK TERMINAL

TEKTRONIX 4051
er en intelligent terminal!

4051 kan kobles til et datasenter via telefonnettet og kan gi adgang til store datamengder. Programredigering kan skje lokalt og man kan dermed redusere linje- og maskintid. Magnetbåndstasjonen kan benyttes til batch-oppgaver med transmisjon opp til 2400 baud. Forøvrig kan 4051 benyttes som Tektronix velkjente 4012 grafiske terminal.

BASIC KALKULATOR

TEKTRONIX 4051
er en intelligent kalkulator!

Med opp til 32K ord lager og innebygget magnetbåndstasjon på 300K ord, kan 4051 løse problemer som før har krevd langt større data-anlegg.
BASIC er utvidet med en rekke «grafiske funksjoner» som gjør det enkelt for brukeren å formulere sine problemer.
Resultatet kommer hurtig frem på billedskjermen, som både kan skrive tekst, tegne kurver, skjemaer og diagrammer m.m.
4051 kan kommunisere med annet utstyr via IEC bus, og «interrupt»-systemet betyr at 4051 kan fungere som hjerne i et komplekst målesystem.

TEKTRONIX 4051
er en intelligent løsning!

On-line eller off-line – 4051 gir grafiske løsninger med kvalitet og til en meget gunstig pris. 2590 alfanumeriske karakterer kan vises samtidig på skjermen (11") og adresseringsnøyaktigheten er 1024x/780y punkter til plotting (grafisk). Tidsskjemaer, funksjonsplot, diagrammer m.m. – 4051 gjør det enkelt og hurtig.
Det finnes et programbibliotek – Plot 50 – med pakker på forskjellige nivåer. Fra opplæringsprogrammer som trinn for trinn fører en ny bruker gjennom 4051's mange funksjoner, til rutiner for spesialanvendelser innenfor matematikk, statistikk og elektronikk.
Kopieringsenhet, plotter/digitizer, printer og ekstra kassett-tape kan tilkobles 4051.

MORGENSTIERNE
Ingeniørfirma Morgenstierne & Co. A/S
*35 61 10 - Konghellegt. 3/5 - Oslo 5
Avdelingskontorer i Bergen og Trondheim

STEDET FOR ELEKTRONISKE INSTRUMENTER OG KOMPONENTER TIL INDUSTRI OG FORSKNING

Fra Fysikkens Verden

Utgiver: NORSK FYSISK SELSKAP

Redaktør: HAAKON OLSEN
Redaksjonssekretær: HALVARD TORGERSEN

Nr. 4 - 1976
38. årgang

Redaktørskifte i Fra Fysikkens Verden

Professor Haakon Olsen vil etter eige ønske slutte som redaktør ved årskiftet 1976/77, eit arbeid han har hatt i 15 år. Dette er difor siste nummeret av Fra Fysikkens Verden som han redigerar. Eg talar sikkert på vegne av alle medlemmene i Norsk Fysisk Selskap når eg takkar han for det store arbeidet han har lagt ned i tidsskriftet. Olsen tok over i ei vanskeleg tid for tidsskriftet og har opparbeidd det til den solide posisjonen det har blant norske fysikarar. Hjarteleg takk!

Det har lukkast oss å få forskar Olav Steinsvoll til å ta over som ny redaktør. Steinsvoll kjenner tidsskriftet som medarbeider i redaksjonen og lesarane vil kjenne han som ein flittig skribent dei siste åra. Saman med laboratorieingeniør Halvard Torgersen, som har sagt seg villig til å halde fram som redaksjonssekretær, vil han få hovudtyngda av arbeidet med tidsskriftet framover. Vi ønskjer Steinsvoll til lukke med det nye vervet.

Tormod Riste
formann, Norsk Fysisk Selskap

Jeg takker styret i Norsk Fysisk Selskap for godt samarbeid i den tiden jeg har vært redaktør – spesielt de to formenn i denne tiden, professor Sverre Westin og forskningssjef Tormod Riste. Redaksjonskomiteen har vært til stor hjelp for redaktøren, og jeg takker redaksjonskomite og forfattere for gode artikler og annet stoff til tidsskriftet.

De to nærmeste medarbeidere i redaksjonen, redaksjonssekretær, laboratorieingeniør Halvard Torgersen og sekretæren, kontorfullmektig Gudrun Græsmann har gjort et fremragende arbeid for tidsskriftet. Jeg vil takke dem for et nært og godt samarbeid. Jeg er svært glad for at Gudrun Græsmann og Halvard Torgersen har sagt seg villige til å fortsette i redaksjonen.

Når nå forsker Olav Steinsvoll tar over som redaktør, er tidsskriftet i de beste hender. Jeg ønsker Steinsvoll lykke til i arbeidet for tidsskriftet, og jeg håper at Fra Fysikkens Verden fortsatt vil beholde sin posisjon i den norske fysikkens verden.

Håkon Olsen

Seminar om realfagundervisning i Norge

Vi innbyr herved til 3 dagers seminar om *realfagundervisning i Norge.*

Tid: 12., 13. og 14. januar 1977.

Sted: Lokalene til Pedagogisk Senter i Trondheim.

Innlagt i seminaret vil være møter mellom interesserte organisasjoner og institusjoner for drøfting av samarbeidstiltak.

Foreløpig emneliste:

Formål med realfagundervisning
som del av en yrkesutdannelse
som del av en allmenndannelse

Beskrivelse av situasjonen i Norge
perspektiver og visjoner

Hvem har faglig ansvar?
Hva innebærer faglig ansvar ut over forsvarlig yrkesutøvelse?
Spesielt – Hva innebærer faglig ansvar når

det gjelder interesse og engasjement i undervisningsspørsmål?

Samarbeid
på tvers av skoleslagene
over faggrensene
lærere imellom
med og mellom institusjoner og organisasjoner utenfor skolen

Ønskelige tiltak
Vi håper med seminaret å gi liv til en målsetningsdebatt. Av midlene som må til for å nå målene, har vi plukket ut ett for spesiell drøfting – samarbeid.
De vi gjerne vil nå med vår invitasjon, er grupper og enkeltpersoner som følger faglig ansvar.
For at vårt videre arbeid skal bli forenklet, ber vi om å få tilsendt foreløpig påmelding, og gjerne råd og forslag i forbindelse med arrangementet.
Hvis noen ønsker å bidra med foredrag, spesiell uttalelse eller annen form for forberedt innlegg, vil vi være takknemlige for det. Vennligst gi beskjed, så vi kan få passet det inn i programmet. Vi har ingen mulighet for å gi honorar. Men hvis seminaret blir vellykket, har vi planer om å gi ut foredragene, eventuelt et redigert utvalg, i bokform.
Vi tar sikte på å sende ut program for seminaret i løpet av november. Vi ber derfor om at henvendelser i forbindelse med seminaret skjer så raskt som mulig.

Professor *Osmund Jenssen,*
Institutt for Mekanikk,
7034 Trondheim – NTH

Lektor *Bernt K. Hauge,*
Ugla skole,
7000 Trondheim

Nye medlemmer tatt opp 20/10 1976

Professor T. Hagfors, Seksjon for teleteknikk, NTH, Trondheim.

Professor A. C. G. Johnsson, Fysisk Institutt, NLHT, Trondheim.

Cand.real. E. Sagstuen, Fysisk Institutt, Blindern.

Cand.real. A. I. Vistnes, Fysisk Institutt, Blindern.

Studentmedlem

Hovedfagstudent R. Bøyum, Fysisk Institutt, Blindern.

Medlemskontingenten og årsabonnementet for 1977

Drifta av «Fra Fysikkens Verden» viste i 1975 eit underskot på kr. 5.670,–. På årsmøtet i Tromsø vart det vedteke å føre over kr. 5.000,– frå selskapet sine midlar for å sikre drifta i 1976. Årsmøtet gav styret fullmakt til å avgjere om medlemskontingenten og abonnementsprisen for 1977 skulle aukast. Styret og den nye redaksjonen har hatt kontakt med Norges Almenvitenskapelige Forskningsråd, som ikkje kunne gje lovnad om auka støtte til tidsskriftet. NAVF sa og at abonnementet for eit slikt tidsskrift burde ligge på kr. 30,–, etter sammenlikning med andre tidsskrift.

Styret har difor vedteke å

auke medlemskontingenten til kr. 60,– og prisen på årsabonnement til kr. 30,–

frå 1. januar 1977. For studentar og skuleelevar vil dei tilsvarande prisane vere kr. 30,– og kr. 15,–.

T. R.

Faglig gruppe for datafysikk.

Vi minner om at Faglig gruppe for Reaktorfysikk på årsmøtet 1976 ble forandret til *Faglig gruppe for datafysikk.* De som ønsker å bli medlem av den nye gruppen, bes melde fra til sekretæren.

FYSIKK OG ENERGI

Universitetskurs per korrespondanse

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, vil i vår- og høstsemestret 1977 gi kurset F 161 – «Fysikk anvendt på energiproblematikk» som brevkurs for et begrenset antall deltagere.

Dette kurset som tar sikte på å gi en fysikkorientert innføring i energiprobelmatikken, er hentet fra det ordinære tilbud til studentene her og det gir 3 vekttall (20 vekttall tilsvarer 1 års arbeid for fulltidsstudent).

Det ordinære kurs varer ett semester med 5 undervisningstimer per uke. Kurset avsluttes med en prosjektoppgave av 3 ukers varighet og en muntlig prøve. Det gis bare karakterene bestått og ikke bestått.

Fysisk institutt vil anbefale at permisjon innvilges i forbindelse med eksamen.

Det forutsettes kunnskaper i fysikk svarende til minst ett års fysikkstudium ut over realarti-

(forts. side 77)

Partikler med sjarm

Jan Finjord

Høsten 1974 ble det oppdaget en ny ustabil partikkel med spinn 1 og negativ paritet, og masse nær 3.1 GeV. Den opptrådte som resonans ved p-Be-spredning i Brookhaven og ved e^+e^--annihilasjon i Stanford. Dens levetid var ca. 1000 ganger større enn de 10^{-23} sekundene som er typisk for vanlige mesonresonanser. Oppdagelsen ble fulgt av nye funn av langlivete mesoner, i Stanford og ved DESY (Deutsches Elektronen-Synchrotron) i Hamburg. Man fikk se høyenergifysikere smile! I dag kjenner man $\eta_c(2.8)$, ψ (3.095), $P_c(3.41)$, $\chi(3.53)$ som muligens kan oppløses i P (3.51) og η'_c (3.55), $\psi'(3.684)$, dessuten en udøpt ved 4.0 GeV og en hel gruppe ved 4.2 GeV. En måte å beskrive de lange levetidene på, er å si at partiklenes bestanddeler har et nytt kvantetall som er bevart i sterke vekselvirkninger, men ikke i de langsommere elektromagnetiske og svake vekselvirkningene. Men da faller partiklene utenfor det klassifiseringsskjemaet som FFV's lesere er blitt kjent med i de siste nummer, hvor man fra et utvalg på 6 grunnleggende partikler med spinn ½, kvarkene u, d, s og deres antipartikler, danner mesonene av en kvark og en antikvark og baryonene (f. eks. protonet og nøytronet) av tre kvarker; her er ingen nye kvantetall til rådighet.

Flere løsninger er foreslått. I den som ser ut til å stemme best med massespektret av de hittil observerte partiklene, utvider man tripletten med en fjerde kvark c og dens antipartikkel $\bar{c}$, som skal bære sjarmtall» C på henholdsvis $+1$ og $\div 1$, hyperladning Y på $+\frac{1}{3}$ og $\div\frac{1}{3}$, og isospinn I = 0. Mesoner og baryoner konstrueres som før. I dette bildet skal alle de nye partiklene være nesten rene $c\bar{c}$-tilstander; skal de henfalle via sterke vekselvirkninger til vanlige mesoner og baryoner kan det bare skje på grunn av en komponent $u\bar{u}$, $d\bar{d}$, $s\bar{s}$ som må være meget liten for å forklare den lange levetiden. Ut fra analogien med positronium har man døpt η_c og η'_c parasjarmonium og de andre ortosjarmonium. η og ψ er grunntilstander, η' og ψ' er radialeksiterte og de andre er angulareksiterte.

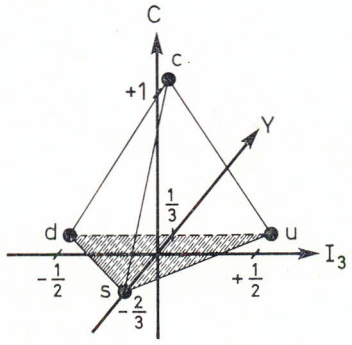


Fig. 1. SU(4)-diagram for kvarker. Langs aksene er avsatt tredje komponent av isospinn I_3, hyperladning Y og sjarmtall C.

De fire kvarkene, som er tegnet inn med kvantetall i figur 1, danner en kvartett-representasjon av den unitære gruppen SU(4). Den har nettopp 3 diagonale generatorer, som vi kan assosiere med kvantetallene I_3, Y og C. Gell-Mann-Nishijimas regel for ladning blir nå

$$Q = I_3 + \tfrac{1}{2}(Y + C)$$

slik at c har ladning $+\frac{2}{3}$ liksom u, mens d og s har ladning $\div\frac{1}{3}$. Glashow, Iliopoulos og Maiani påviste i 1970 at for å forene svake og elektromagnetiske vekselvirkninger måtte man postulere sjarm-kvarken, og la styrkeforholdene mellom amplitudene for de tillatte kvarkovergangene ved svake vekselvirkninger være gitt ved

$$J_a(x) = (\bar{u}(x)\,\bar{c}(x))\,\gamma_a(1 \div \gamma_5) \begin{pmatrix} \cos\Theta & \sin\Theta \\ \div\sin\Theta & \cos\Theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d(x) \\ s(x) \end{pmatrix}$$

I dette uttrykket for den svake strømmen $J_a(x)$ er Θ Cabbibovinkelen, γ_a og γ_5 er Diracmatriser, og u(x) osv. er kvarkbølgefunksjoner. Det forklarer f. eks. at henfallet

$$K^0 \rightarrow l^+ + l^-$$

hvor leptonet l er et elektron eller et myon, er meget mindre sannsynlig enn SU(3) tilsier; i SU(4) fås to amplituder som kansellerer hverandre i grensen hvor u og c har lik masse.

* Artikkelen bygger delvis på en forelesning ved Universitetet i Trondheim i 1975.

Dr. philos. Jan Finjord er stipendiat ved NORDITA, København.

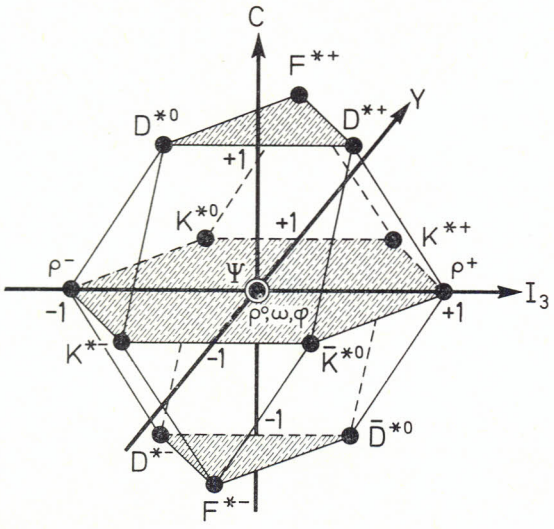


Fig. 2. Vektormesonene fra SU(3) danner en undergruppe av dekaheksapletten i SU(4) av mesoner med spinn 1.

Sjarm som teoretisk verktøy var altså etablert lenge før ψ ble observert. Men denne formalismen forutsier også mesoner og baryoner med $C \neq 0$. La oss se hvilke multipletter man får i SU(4), og hvilke eksperimentelle nyheter som får oss til å ile til FFV's lesere!

Figur 2 viser vektormeson-dekaheksapletten man kan konstruere i SU(4). Den vil ha ψ i origo. I tillegg til ψ og de sjarmløse mesonene får vi en SU(3)-antitriplett med $C = 1$ og en triplett med $C = \div 1$. En tilsvarende multiplett av pseudoskalare mesoner vil ha η_c i origo; navn på de nye spinn 0 – mesonene med $C \neq 0$ kan man få ved å fjerne stjernene i figur 2. Da c-kvarken må ha meget større masse enn de andre, vil ψ og η_c bare i liten grad blande seg med de andre mesonene med $I_3 = Y = C = 0$. Kvarkinnholdet av mesonene med $C \neq 0$ er

$$D^{(*)0} = c\bar{u},\ D^{(*)+} = c\bar{d},\ F^{(*)+} = c\bar{s}$$
$$D^{(*)0} = u\bar{c},\ D^{(*)-} = d\bar{c},\ F^{(*)-} = s\bar{c}$$

Sommeren 1975 ble det meldt fra Stanford at man hadde observert

$$e^+ + e^- \rightarrow \mu^{\pm} + e^{\mp}$$

hvor ikke-observerte nøytrale partikler i sluttilstanden overtok omtrent halvparten av den innkommende energien. Antall nøytrale er ikke fullt klarlagt ennå. Er det 4, støtter det et postulat om at nye leptoner er involvert – er det 2, har vi å gjøre med kandidater for assosiert sjarmproduksjon: Reaksjonen

$$e^+ + e^- \rightarrow F^{(*)+} + F^{(*)-} \begin{cases} \rightarrow l_1^+ + \nu_{11} \\ \rightarrow l_2^- + \bar{\nu}_{12} \end{cases}$$

hvor ν og $\bar{\nu}$ er henholdsvis nøytrino og antinøytrino, skal være mulig og målbar ifølge teorien.

Figur 3 og figur 4 viser forutsagte multipletter av baryoner med spinn 1/2 og 3/2. Kopling av tre SU(4)-kvartetter gir bl. a. de to ikosapletter, som oppløser seg slik i SU (3)-multipletter:

$$20' = 8_{C=0} + 6_{C=1} + \bar{3}_{C=1} + 3_{C=2}$$
(spinn 1/2)

$$20 = 10_{C=0} + 6_{C=1} + 3_{C=2} + 1_{C=3}$$
(spinn 3/2)

Hva kvarkinnholdet angår: For $Y = 1$ får vi en oktett og en antidesimett i I_3 og C, som kan konstrueres fra $8_{C=0}$ og $10_{C=0}$ ved å bytte ut s med c:

$$C_1^{(*)++} = uuc,\ X_u^{(*)++} = ucc,\ Æ^{++} = ccc$$

osv. Tilstandene med $Y < 1$ kan enkelt konstrueres ut fra disse.

Det nye året har brakt bekreftelse fra CERN og Fermilab på tidligere rykter derfra og fra Brookhaven om at nøytrinospredning på nukleoner gir stluttilstander som tyder på sjarmproduksjon:

$$\nu_\mu + N \rightarrow \mu^- + e^+ + M \quad + \ldots$$
$$C = 0$$
$$Y = \div 1$$

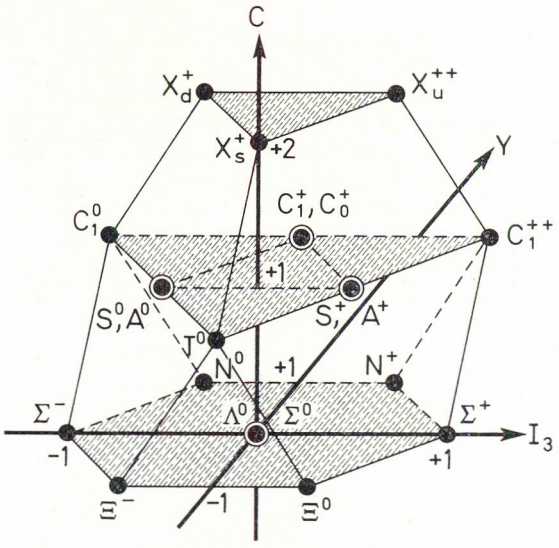


Fig. 3. De forutsagte baryonene med spinn 1/2 i SU(4) danner ikosapletten $20'$, som har SU(3)-oktetten som undergruppe.

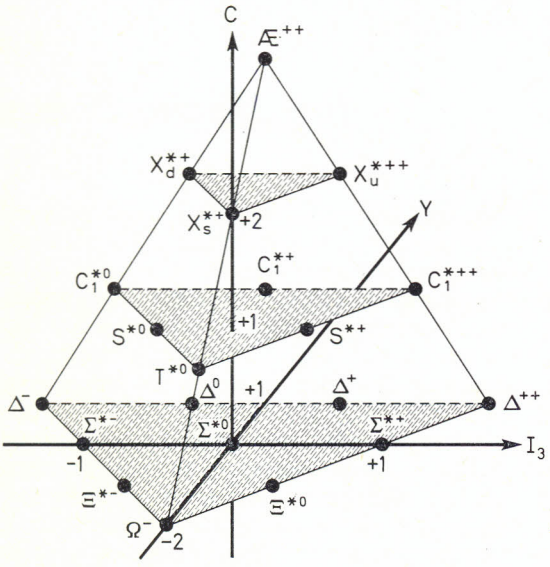


Fig. 4. I SU(4) vil 20 baryoner med spinn 3/2 danne ikosapletten20.

hvor M er et meson; bare de typiske ingrediensene i sluttilstanden er tatt med. Ved Fermilab hadde man i januar 8 slike events. Reaksjonen er uforklarlig med bare SU(3)-kvarker, men i SU(4) kan man forestille seg en to-trinns svak reaksjon som begynner med

$$\nu_\mu + N \rightarrow \mu^- + C^1$$

Baryonet C^1 med sjarmtall $+1$ er C_0^+, $C_1^{(*)+}$ eller $C_1^{(*)++}$. Neste svake overgang kan gi en tilstand med $Y = \div 1$:

$$c \rightarrow s + e^+ + \nu_e$$

Sterke vekselvirkninger kommer inn i reaksjonskjeden slik at s-kvarken til slutt befinner seg f. eks. i et K-meson, men det nøyaktige forløpet avhenger av massene til sjarm-partiklene. Eksperimentene antyder en masse for den henfallende sjarm-partikkelen nær 2 GeV, som passer med masse-estimater for sjarm-mesoner ut fra ψ-massen og vanlige mesonmasser og tilfeldigvis også med terskelen for $\mu^\pm e^\mp$-produksjonen i Stanford, som er like under 4 GeV!

Hvis det viser seg at den tilsvarende reaksjonen med antinøytrinoer ikke blir observert,

$$\bar{\nu}_\mu + N \not\rightarrow \mu^+ + e^- + M \quad (C = 0,\ Y = \div 1) \quad + \ldots$$

blir sjarm-forklaringen konsistent – reaksjonen er forbudt som to-trinns svak overgang. SU(4) kan da kanskje etableres som gyldig beskrivelse av baryoner og mesoner i det masseområdet vi nå kjenner. Man er selvfølgelig ikke ufin nok til å være forutinntatt, men den spennende analogien mellom 4 kvarker og de 4 kjente leptonene kan lede til gjennombrudd i arbeidet med å forene sterke, elektromagnetiske og svake vekselvirkninger i én teori.

Litteratur:

F. Ravndal, FFV 2, 1975.
O. Steinsvoll, FFV 1 og 4, 1975.
J. Finjord og F. Ravndal, Phys. Letters 58B (1975) 61.
CERN Courier 1, 1976; J. Blietschau et al., Phys. Letters 60B (1976) 207.

(forts. fra s. 74)

ums nivå, (f.eks. FA1 og FA2 kursene ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo).

Brevkurset vil strekke seg over 2 semestre med eksamen om høsten.

Kurspensumet omfatter et teoretisk pensum samt øvelsesoppgaver i tilknytning til dette. Det teoretiske pensum dekkes av boka:

«Fysikk anvendt på Energiproblematikk» av Ø. Holter, F. Ingebretsen og H. Parr. Den kan bestilles fra Fysisk institutt og koster kr. 20,–.

Det vil være en fordel om flere gikk sammen om å ta kurset, slik at vanskeligere deler av pensum kan gjennomgås i kollokviegrupper.

Interesserte kan henvende seg til fru Røed, tlf. 46 68 00, linje 9423, Fysisk institutt, Boks 1048, Blindern, Oslo 3.

Påmeldingsfrist er 1. februar 1977.

Bøker

Uli Gonser (ed.): Topics in Applied Physics. Volume 5. Mössbauer Spectroscopy. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York. 1975.

Mössbauers oppdagelse i 1957 at γ emisjon og absorpsjon kan skje rekylfritt har vist seg å bli et meget viktig hjelpemiddel til å løse problemer innen naturvitenskap og teknologi. En enorm mengde med data og artikler er blitt publisert i Møssbauer spektroskopi og dens anvendelse. Det er derfor viktig at noen setter seg ned, som de seks forfattere av denne bok har gjort, og skriver oversiktsartikler over de viktigste problemer som med fordel kan angripes med hjelp av denne teknikk.

Den foreliggende bok består av seks kapitler. Innledningsartikkelen, som er skrevet av redaktøren, professor Gonser, er en innføring i Mössbauereffekten. Den er etter min oppfatning dårlig skrevet; blant annet er denne effekt forsøkt forklart uten bruk av kvantemekanikk.

(forts. s. 87)

Magnetisk ladete partikler

Jon Magne Leinaas

Innledning

Som nevnt i et nummer av Fra Fysikkens Verden tidligere i høst, hevder en gruppe amerikanske fysikere å ha funnet et spor etter en magnetisk monopol i en detektor som har vært utsatt for kosmisk stråling.[1] Den registreringen de viser til kan riktignok ikke betraktes som en direkte påvisning av en magnetisk ladet partikkel, men en del spesielle trekk ved sporet synes å fremheve dette som en meget sannsynlig mulighet.

Selve eksperimentet ble utført i september 1973 og hadde til hensikt, ved å sende opp en ballong med detektorer i stor høyde over jorda, å studere tunge kjerner i den kosmiske stråling. Detektorene som ble benyttet inneholdt en rekke forskjellige lag (Cerenkov-film, fotografisk emulsjon, Lexan-detektorer) for å kunne trekke mest mulig informasjon ut av sporene etter de partiklene som ble registrert.

I det aktuelle tilfelle var en sterkt ioniserende partikkel gått tvers gjennom alle lagene i en detektor. Og man fant ingen endring i ioniseringen langs sporet, som kunne tilskrives at partikkelen mistet hastighet. På den annen side viste Cerenkov-filmen at partikkelen måtte hatt en hastighet $v < 0{,}68c$. Partikkelen må altså ha vært svært tung. En nærmere analyse av sporet viste at det svært vanskelig kunne tilskrives en elektrisk ladet partikkel. Den må i så fall ha hatt en uhyre stor masse ($> 10^4$ protonmasser). En annen tolkning av sporet er imidlertid fullt mulig, nemlig at en magnetisk ladet partikkel med ladning $q_m = 137e$ og hastighet $v = 0{,}5c$ har gått gjennom detektoren. Massen til partikkelen må ha vært meget stor, $> 200m_p$. (Den nedre grense på massen er senere justert opp til $500m_p$.) Verdien på magnetladningen som er funnet, er spesielt interessant, siden den stemmer over ens med hva som er «tillatt» i følge teorien. Den har en ladning som er den dobbelte av Diracs minsteladning.

Denne oppdagelsen har naturlig nok ført til en sterk økning i interessen for magnetiske monopoler. Men også tidligere, med monopolene som rent hypotetiske objekter, har de ut fra teoretisk interesse vært viet en god del oppmerksomhet. Denne interessen for hypotetiske partikler kan en delvis forstå ut fra det faktum at nye elementær-partikler stadig oppdages. Enkelte av disse har da også vært forutsagt gjennom teoretiske betraktninger før de ble funnet. En kan for eksempel tenke på positronet (det positivt ladete elektron), som Dirac teoretisk påviste muligheten av omtrent samtidig med at han skrev sin grunnleggende artikkel om magnetiske monopoler[2]. En eksistens av frie magnetiske poler vil dessuten ut fra et teoretisk synspunkt, ha en del interessante konsekvenser. I det følgende vil jeg gå litt nærmere inn på noen av disse, spesielt Diracs kvantiseringsbetingelse for elektrisk og magnetisk ladning.

Elektromagnetisme med magnetiske ladninger

Den klassiske elektromagnetisme er sammenfattet i Maxwells ligninger og i uttrykket for kraften på en ladet partikkel (Lorentzkraften). Innen rammen av denne teorien byr det ikke på noe problem å innpasse magnetiske ladninger i tillegg til de elektriske. Tvert i mot gir dette en naturlig utvidelse av teorien, og det fullstendiggjør den symmetri som alt eksisterer mellom elektriske og magnetiske fenomen.

Med kilder for både det elektriske og det magnetiske felt får Maxwells ligninger (i vakuum) formen

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\varrho_e$$
$$[(\partial/\partial t)\mathbf{E}]/c \div \nabla \times \mathbf{B} = \div 4\pi\mathbf{j}_e/c$$
$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 4\pi\varrho_m$$
$$[(\partial/\partial t)\mathbf{B}]/c + \nabla \times \mathbf{E} = \div 4\pi\mathbf{j}_m/c$$

hvor ϱ_e og ϱ_m er henholdsvis elektrisk og magnetisk ladningstetthet, og $\mathbf{j}_e$ og $\mathbf{j}_m$ de tilsvarende strømmer. (Det Gaussiske enhetssystem er benyttet, der **E**- og **B**-feltet har samme dimensjon.) Vi ser at ligningene på denne formen har en fullstendig symmetri mellom elektriske og magnetiske størrelser.

Som en følge herav vil det derfor være en enkel sammenheng mellom det felt en magnet-

* Departement of Physics, State University of New York at Stone Brook. (Med permisjon fra Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo.)

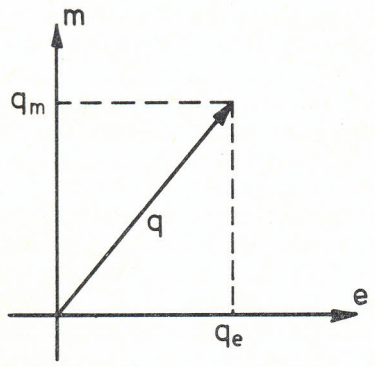


Fig. 1 Partikkel-ladningene kan betraktes som vektorer i et todimensjonalt ladningsplan, med en elektrisk og en magnetisk komponent.

ladning i bevegelse er årsak til og det en elektrisk ladning med samme ladningsstyrke og samme bevegelse forårsaker. Den er ganske enkelt gitt ved substitusjonen

$$\mathbf{B} \rightarrow \mathbf{E} \quad , \quad \mathbf{E} \rightarrow -\mathbf{B} \, .$$

For strålingsfeltet fra de to ladninger vil dette si en dreining av polarisasjonsretningen på 90°.

Kraften som virker på en elektrisk ladet partikkel som beveger seg i et elektromagnetisk felt er

$$\mathbf{F} = q_e\mathbf{E} + q_e \, (\mathbf{v}/c) \times \mathbf{B} \, .$$

Den tilsvarende kraften på en magnetisk ladet partikkel er det naturlig å anta har formen

$$\mathbf{F} = q_m\mathbf{B} \div q_m \, (\mathbf{v}/c) \times \mathbf{E} \, .$$

Symmetrien ved ombytte av elektriske og magnetiske størrelser vil dermed også gjelde bevegelsesligningen for ladete partikler.

Denne utvidete teori, hvor en har både elektriske og magnetiske ladninger, har faktisk en høyere grad av symmetri enn som så. For å se litt nærmere på det, la oss først gjøre en generalisering, ved å anta at en partikkel ikke nødvendigvis er rent elektrisk eller magnetisk ladet (eller nøytral), men at den kan ha både en elektrisk ladning q_e og en magnetisk ladning q_m. Kraften på en slik partikkel blir da

$$\mathbf{F} = q_e\mathbf{E} + q_m\mathbf{B} + (\mathbf{v}/c) \times (q_e\mathbf{B} \div q_m\mathbf{E}) \, .$$

En kan tenke seg ladningen til en slik partikkel som en sammensatt størrelse med en elektrisk og en magnetisk komponent, $q = (q_e, q_m)$. Eller, om en vil, q er en vektor i et todimensjonalt «ladningsplan», hvor en har en elektrisk og en magnetisk ladnings-akse (se fig. 1). På samme måte kan en tenke seg det elektriske og magnetiske felt som de to ladningskomponenter til et sammensatt felt $\mathbf{G} = (\mathbf{E}, \mathbf{B})$.

Den fulstendige symmetri kommer nå til uttrykk ved at Maxwells ligninger og den generaliserte Lorentzkraften er uendret når feltet og partiklenes ladninger transformeres på følgende måte:

$$\mathbf{E} \rightarrow \mathbf{E}' = \mathbf{E}\cos\vartheta + \mathbf{B}\sin\vartheta \quad ,$$
$$q_e \rightarrow q'_e = q_e\cos\vartheta + q_m\sin\vartheta$$
$$\mathbf{B} \rightarrow \mathbf{B}' = -\mathbf{E}\sin\vartheta + \mathbf{B}\cos\vartheta \quad ,$$
$$q_m \rightarrow q'_m = -q_e\sin\vartheta + q_m\cos\vartheta,$$

hvor ϑ er en vilkårlig vinkel. Men dette beskriver ganske enkelt en rotasjon av felter og ladninger i det todimensjonale ladningsplan. Altså, om en tenker seg å kunne forandre alle ladningene til partiklene i et system ved å «rotere» elektriske og magnetiske størrelser over i hverandre, så ville dette ikke ha noen innflytelse på bevegelsen til partiklene. Det er med andre ord ingen retning i ladningsplanet som skiller seg ut fra noen annen. Og derfor er den elektriske og magnetiske komponent til en ladning i seg selv ikke veldefinerte størrelser. For å finne disse må en sammenligne med en referanseladning, som man f. eks. har vedtatt skal være rent elektrisk.

Det faktum at man tidligere bare har funnet rent elektriske ladete partikler i naturen, kunne en altså like godt ha uttrykt ved å si at alle observerte ladninger har like stor elektrisk og magnetisk komponent. Poenget er at forholdet mellom de to komponenter er det samme for alle disse ladningene, eller med andre ord at ladningene er plassert langs en linje gjennom origo i det todimensjonale ladningsplan. Og det som er spesielt ved den «nye» ladningen som man nå mener å ha funnet, er at den ikke ligger på denne linjen.

Som en ser vil eksistens av magnetiske ladninger føre til en teori som har en høyere grad av symmetri enn uten slike ladninger. Og enkelte har tidligere ment at dette i seg selv er en sterk indikasjon på at det må finnes magnetisk ladete partikler. Nå vil en slik teori ikke i alle henseender være mer symmetrisk. Det kan for eksempel nevnes at det fører til brudd på symmetrien ved speiling om et punkt i det tredimensjonale rom og ved reversering av tidsretningen. (Brudd på disse symmetrier er imidlertid alt påvist i enkelte elementærpartikkel-prosesser.) Også enkelte andre problemer vil oppstå, noe jeg vil komme inn på senere i artikkelen.

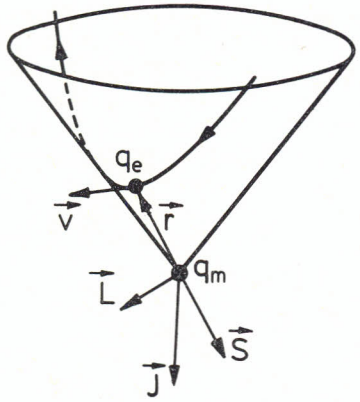


Fig. 2 Banen til en elektrisk ladet partikkel i feltet fra en stasjonær magnetisk monopol er en geodetisk kurve på en kjegleflate.

Diracs kvantiseringsbetingelse

La oss se litt nærmere på et enkelt system, der en elektrisk ladet partikkel beveger seg i feltet fra en stasjonær magnetisk monopol. Problemet med å finne partikkelens bevegelse ble undersøkt og løst alt av Poincaré i 1896[3], og senere har det tilsvarende kvantemekaniske problem vært undersøkt i sammenheng med Diracs kvantiseringsbetingelse for ladninger.

Med monopolen (ladning q_m) i origo, gir den opphav til et magnetisk Coulombfelt,

$$\mathbf{B} = q_m \, (\mathbf{r}/r^3)$$

Og bevegelsesligningen til en partikkel med elektrisk ladning q_e blir

$$(d/dt)\mathbf{p} = q_e q_m \, (\mathbf{v}/c) \times (\mathbf{r}/r^3),$$

hvor $\mathbf{p}$ er partikkelens impuls. Et karakteristisk trekk ved partikkelens bevegelse er at retningen på banespinnet $\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p}$ ikke er konstant. Det viser at bevegelsen ikke foregår i et plan. Derimot følger det av bevegelsesligningen at størrelsen

$$\mathbf{J} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} \div (q_e q_m/c)(\mathbf{r}/r)$$

er en bevegelseskonstant. Tar en skalarproduktet av denne med radiusvektor, ser en at vinkelen χ mellom de to vektorer også er en konstant:

$$\cos \chi = \div \, q_e q_m / J_c$$

Dette viser at bevegelsen foregår på en kjegleflate som ligger symmetrisk om $\mathbf{J}$. Som en ser av uttrykket for kraften på partikkelen, så virker denne vinkelrett på kjegleflaten. Partikkelen vil derfor bevege seg med konstant fart langs en geodetisk kurve på kjeglen (se fig. 2).

Det totale spinnet $\mathbf{J}$ er sammensatt av banespinnet $\mathbf{L}$ og av et tilleggspinn $\mathbf{S} = \div \, (q_e q_m/c) \, (\mathbf{r}/r)$. Dette er rettet langs forbindelseslinjen mellom de to ladningene, og er i størrelse uavhengig av avstanden mellom dem. Det har altså en endelig størrelse selv når ladningene befinner seg uendelig fjernt fra hverandre. En kan vise at det er det overlagrete elektriske og magnetiske felt som er opphav til dette spinnet.

Når en går over til å gi en kvantemekanisk beskrivelse av bevegelsen til den elektrisk ladete partikkelen, viser det seg at størrelsen på dette spinnet bare kan anta visse diskrete verdier. (Det følger imidlertid ikke umiddelbart, siden $\mathbf{S}$ kvantemekanisk ikke er en ekte spinnoperator.) Og denne kvantisering av S er nettopp Diracs kvantiseringsbetingelse for produktet av q_e og q_m. En kan påvise denne kvantiseringen på flere måter, men la oss her sette den i sammenheng med en annen interessant kvantemekanisk effekt.

Schröderligningen for en elektrisk ladet partikkel som beveger seg i et magnetfelt har formen:

$$\div \, (\hbar^2/2m) \, [\nabla \div (i/\hbar) \, (q_e/c)\mathbf{A}]^2 \psi(\mathbf{r}) = E\psi(\mathbf{r}),$$

der $\psi(r)$ er partikkelens bølgefunksjon, E er energien og $\mathbf{A}$ er et vektorpotensial for magnetfeltet, dvs. $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$. Vektorpotensialet $\mathbf{A}$ er i den klassiske fysikk en ren hjelpestørrelse, for så vidt som at bevegelsesligningen for en ladet partikkel kan uttrykkes ved feltstørrelsene $\mathbf{E}$ og $\mathbf{B}$ alene. Men i Schröderligningen inngår $\mathbf{A}$ på en mer grunnleggende måte. Dette kan anskueliggjøres gjennom den såkalte Aharonov-Bohm effekten.[4]

La oss tenke oss at vi gjennomfører et kvantemekanisk dobbeltspalteeksperiment, som vist på fig. 3. På forsiden av skjerm A beskrives bevegelsen til en innfallende elektronstråle ved en bølgefunksjon som en plan bølge. På baksiden gir de to spaltene opphav til hver sin sekundære bølge, og interferens mellom disse

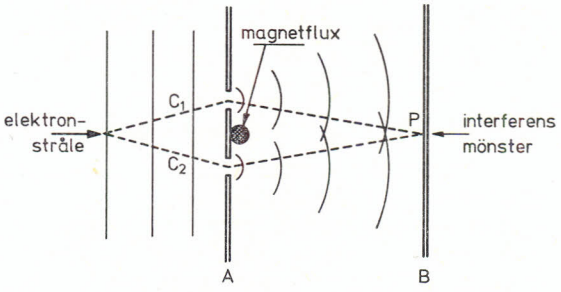


Fig. 3 Et tenkt eksperiment for å påvise Aharonov-Bohm effekten.

kan registreres i form av intensitetsvariasjoner på den bakre skjerm. I «skyggen» av den midtre del av skjerm A plasseres nå en lang solenoid som fører en magnetisk fluks φ. Vi forutsetter at den er konstruert slik at magnetfeltet utenfor solenoiden er neglisjerbart, og at vi derfor kan regne at sannsynligheten er null for at et elektron skal befinne seg noe sted hvor feltet er forskjellig fra null. **A**-feltet kan likevel ikke være identisk null i det området elektronene beveger seg, siden linjeintegralet av **A** rundt enhver lukket kurve som omskriver solenoiden er lik magnetfluksen gjennom denne, $\int \mathbf{A} \cdot d\mathbf{s} = \varphi$ (Stokes sats).

Nå er imidlertid faseforskjellen i et punkt P på skjerm B mellom bølgene som går gjennom de to spaltene avhengig av vektorpotensialet. Faseforskjellen for de to bølgene er

$$\Delta\alpha = 2\pi\Delta l/\lambda + (q_e/\hbar c)\left(\int_{c_1} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{s} \div \int_{c_2} \mathbf{A} \cdot d\mathbf{s}\right)$$
$$= 2\pi\Delta l/\lambda + (q_e/\hbar c)\,\varphi,$$

hvor λ er partikkelens kvantemekaniske bølgelengde, c_1 og c_2 er kurver fra et punkt på forsiden av skjerm A til punktet P gjennom hver av de to spaltene og Δ l er forskjellen i kurvenes lengde. Men dette viser at faseforskjellen $\Delta\alpha$, som er avgjørende for partikkelintensiteten i punktet P, avhenger av magnetfluksen φ. Altså, selv om elektronene ikke beveger seg i magnetfeltet så influerer feltet på interferensmønsteret. Siden intensiteten varierer periodisk med fasedifferansen, så vil den også variere periodisk med φ. Og for enkelte verdier,

$$(q_e/\hbar c)\,\varphi = 2n\pi, \qquad n = \text{et helt tall},$$

så vil virkningen av magnetfeltet forsvinne.

Som denne effekten viser, så er vektorpotensialet en nødvendig del av den kvantemekaniske beskrivelse av bevegelsen til en elektrisk ladet partikkel. Men når denne beveger seg i feltet fra en magnetisk monopol, så fører dette til vanskeligheter. For, når vi setter $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$, så forutsetter det at $\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$, altså at magnetfeltet er kildefritt. Når monopolen er en ren punktladning kan en likevel omgå problemet. En tenker seg da magnetladningen erstattet med endepunktet på en uendelig lang solenoid. (Det andre endepunktet er uendelig langt borte.) Lar en tverrsnittet av solenoiden gå mot null, med en konstant magnetfluks $\varphi = 4\pi q_m$, så får en utenfor solenoiden et felt identisk med feltet fra en magnetladning q_m. For dette feltet kan man imidlertid finne et vektorpotensial, men typisk for dette er at det vil ha en dis-

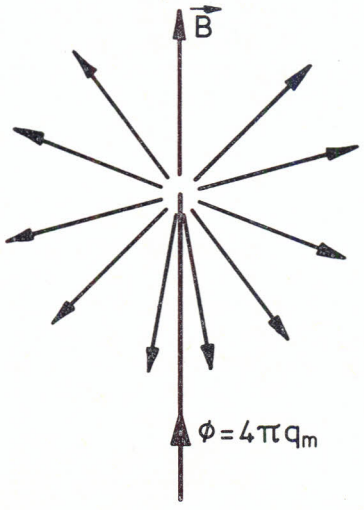


Fig. 4 Det magnetiske monopolfelt kan tenkes tilnærmet med feltet fra en uendelig lang solenoid hvis tverrsnitt en lar gå mot null.

kontinuitet langs fluksstrengen (solenoiden). Et eksempel på slikt vektorpotensial er

$$\mathbf{A} = \div\, q_m[(\mathbf{r} \times \mathbf{k})/r(r + z)]$$

hvor k er enhetsvektoren langs z-aksen. Dette gir magnetfeltet $\nabla \times A = q_m\, \mathbf{r}/r^3$ overalt utenom på den negative z-aksen.

Forutsetningen for at en på denne måten virkelig beskriver feltet fra en monopol, er nå at fluksstrengen, som er blitt hengt på denne, er en ren matematisk bekvemmelighet, men uten noen fysisk virkning. For det klassiske problem er det lett å se at når tverrsnittet av solenoiden går mot null, så vil bare endepunktet av denne ha noen fysisk betydning. Men som vi har sett, vil en solenoid ha en kvantemekanisk effekt som avhenger av fluksen den fører. Og denne vil ikke forsvinne selv om tverrsnittet går mot null. Skal virkningen forsvinne, kan fluksen bare anta visse diskrete verdier,

$$(q_e/\hbar c)\,\varphi = 4\pi q_e q_m/\hbar c = 2n\pi,$$
$$n = \text{et helt tall}.$$

Følgelig må en ha

$$q_e q_m/\hbar c = n/2.$$

Dette er Diracs kvantiseringsbetingelse for produktet av elektrisk og magnetisk ladning.

Denne betingelsen kan gis en mer generell form når en tar hensyn til symmetrien ved rotasjoner i ladningsplanet. For to ladninger $q = (q_e, q_m)$ og $q' = (q_e', q_m')$ blir betingelsen

$$(q_e q_m' \div q_e' q_m)/\hbar c = n/2$$

Siden dette må antas å gjelde for ethvert par av ladninger, så legger det en sterk restriksjon på hvilke ladningsverdier som er «tillatt». Det følger av betingelsen at enhver ladning må bestå av et helt antall av to fundamentalladninger $q^{(1)}$ og $q^{(2)}$,

$$q = n_1(q^1) + n_2q^{(2)} \qquad n_1, n_2 = \text{hele tall}$$

hvor $q^{(1)}$ og $q^{(2)}$ seg imellom oppfyller Diracbetingelsen med $n = 1$. Det er nærliggende å identifisere den ene av disse med den elektriske elementærladning, $q^{(1)} = (e, 0)$. Og som en ser, følger det da at enhver rent elektrisk ladning må bestå av et heltallig multippel av denne. Dette er en tiltrekkende konsekvens av å innføre magnetladninger i teorien, siden en ikke har noen annen tilfredsstillende forklaring på dette empiriske faktum.

I motsetning til den klassiske teori, finnes det i kvanteteorien et absolutt mål for ladning. Dette uttrykkes gjerne ved den dimensjonsløse finstrukturkonstanten,

$$e^2/\hbar c = 1/137.$$

Størrelsen på denne konstanten bringer imidlertid inn et element av asymmetri i bildet. For, setter vi som uttrykk for den andre fundamentalladning $q^{(2)} = (e^1, g)$, så gir den som verdi på den magnetiske minsteladning,

$$g = (eg/\hbar c)\,(\hbar c/e^2)e = 137\,e/2.$$

Den magnetiske minsteladning må altså være betydelig større enn den elektriske. Kraftvirkningen mellom to slike magnetladninger er nesten 5000 ganger større enn mellom to elektriske minsteladninger. En kan ikke utelukke at $q^{(2)}$ også har en elektrisk komponent e^1. Diracbetingelsen gir imidlertid ingen restriksjon på størrelsen av denne. (Det er imidlertid symmetrigrunner for å anta at $e^1 = 0$ eller $e^1 = e/2$.)

Hvilken betydning vil oppdagelsen ha?

La oss anta at det virkelig er en magnetisk monopol som er registrert. Hvilke følger vil det ha? På lengre sikt er det naturlig nok vanskelig å si noe om det. Men hvis massen på de magnetisk ladete partiklene er av den størrelsesorden registreringen indikerer, la oss anta m ≈ 1000 m_p, er det ikke urimelig å tro at den direkte betydning på kort sikt blir forholdsvis liten. For det skal enorme energier til å produsere så tunge partikler, og det overskrider langt det som er til rådighet i de nåværende akseleratorer.

Når det gjelder den indirekte betydning er bildet noe annet. Fra et teoretisk synspunkt må det betraktes som en grunnleggende oppdagelse, og det er ikke urimelig å anta at følgene vil være ganske dyptgående. Schwinger og Barut har tidligere spekulert på om ikke partikler med både elektrisk og magnetisk ladning kunne spille en vesentlig rolle i oppbygningen av materien.[5] De peker på muligheten for at nukleonene (protonene og nøytronene) kan være bundne systemer av slike partikler. De bindes sammen av den supersterke vekselvirkning mellom magnetladningene, og kjernekreftene skulle da (delvis) skyldes polariseringen av systemene når de kommer i nærheten av hverandre. Men noen kvantitativ undersøkelse av denne hypotesen har foreløpig ikke vært gjort. Dette skyldes at man på grunn av den sterke kraftvirkningen mellom magnetladningene med den nåværende teori vanskelig kan gjøre pålitelige beregninger. Interessant er det likevel at en japaner, Sawada, ved å analysere nukleon-nukleon vekselvirkningen mener å kunne påvise en Van der Waals-lignende kraft (polariseringskraft) mellom dem.[6]

En kan i alle fall vente en økt aktivitet når det gjelder teoretisk og eksperimentelt arbeid i tilknytning til magnetiske monopoler i tiden fremover. Hvis en mer grundig analyse av de data som foreligger fra ballongeksperimentet ikke synes å avkrefte den forklaring man har, må en anta at flere tilsvarende eksperimenter vil bli utført. Disse vil forhåpentlig avklare spørsmålet om det virkelig finnes magnetisk ladet partikler, og eventuelt gi mer informasjon om disse. På det teoretiske plan vil det samtidig være av stor interesse å forsøke å løse de vanskeligheter som den supersterke vekselvirkning mellom slike partikler skaper.

Referanser

1. P. B. Price, E. K. Shirk, W. Z. Osborne, L. S. Pinsky; Phys. Rev. Lett. *35;* 487 (1975).
2. P. A. M. Dirac, Proc. Roy. Soc. *A133;* 60 (1931).
3. H. Poincaré, Compt. rend. *123,* 530 (1896).
4. Y. Aharonov, D. Bohm, Phys. Rev. *115,* 485 (1959).
5. J. Schwinger, Science *165,* 757 (1969).
   A. O. Barut i Proceedings of the Coral Gables Conference on Fundamental Interactions, A. Perlmutter, G. J. Iverson, R. M. Williams (red.), New York (1970) p. 199.
6. T. Sawada, Nucl. Phys. *B71,* 82 (1973).

Fra fordums målsystemer til det internasjonale enhetssystem

Jan de Boer

I denne artikkel gjør Professor Jan de Boer først et streiftog inn i tallenes historie med hovedvekten på den betydning som tallene har som vesentlige elementer for presise uttrykk for måleresultater. Så følger en kortfattet historikk om målenheter og om metersystemets opprinnelse samt om den nå godt og vel hundre år gamle meterkonvensjon. Professor de Boer kommer så inn på hva man i moderne tid må kreve av et enhetssystem og hva man mener med et *absolutt* enhetssystem. Derpå blir CGS-systemene samt det praktiske elektriske enhetssystem så vel som det nå mest aktuelle *Système International d'Unités,* SI, satt i relasjon til hverandre i historisk sammenheng og på en måte som kan være lærerik for hvilkensomhelst leser. Det kan også representere nyttigt kunnskapsstoff for den som interesserer seg for – og kan få innflytelse på – enhetssystemers fremditige utvikling, særlig SI's.

Artikkelen er skrevet som innledende avsnitt av jubileumsboken «Le Bureau International des Poids et Mesures, 1875 – 1975.» Med Professor de Boer's velvillige tillatelse gjengis artikkelen her i norsk oversettelse.

Professor Jan de Boer, som er professor i teoretisk fysikk ved Universitetet i Amsterdam, har en dominerende plass i det internasjonale samarbeid på dette felt som særlig i tiden etter den annen verdenskrig har vært intensivert innen mange internasjonale organisasjoner. Siden 1951 har Professor de Boer vært medlem av Comité International des Poids et Mesures, og dennes sekretær siden 1964. Han har vært president for Comité Consultatif des Unités siden denne ble opprettet i 1964. Dette bare for å nevne et par av de tillitshverv som er blitt Professor de Boer til del.

Sture Koch

Tall og Mål

I anledning av feiringen av hundreårsjubiléet for Meterkonvensjonen synes det nærliggende å bringe i erindring den historiske opprinnelse og utvikling av enhetssystemene. Særlig må nevnes det internasjonale enhetssystem som er ett av de viktigste resultater av det internasjonale samarbeid som har vært drevet innen rammen av Meterkonvensjonen.

Utarbeidelsen av et slikt system av enheter som er internasjonalt anerkjent, er intimt knyttet til selve vitenskapens historie. Den rent metrologiske side av utviklingen av mål og vekt, og av normaler i sin alminnelighet, er sikkert direkte påvirket av naturvitenskapen og av teknikken. Men den logiske struktur av systemet og av symbolene, av de matematiske regler, og av måten å uttrykke numeriske relasjoner på, er også blitt influert av hvor langt til enhver tid matematikken var kommet. På den annen side er det nødvendig for de eksperimentelle vitenskapers egen utvikling å ha egnede metoder såvel for målinger som for måtene å uttrykke måleresultatene på ved hjelp av symboler. Der eksisterer altså et nært gjensidig forhold. Det er nok det som Cassirer har villet si når han skrev: «Den eksakte måte å uttrykke seg på i fysiske teorier, kommer av den matematiske form som teoriene er iført. Å telle og å måle er uunnværlige ting, om ikke for annet så dog for å få samlet det råmateriale av observerte data som man må tilpasse og forene til en teori.»

Selv om det internasjonale enhetssystem er dypt rotfestet i *moderne* naturvitenskap og teknikk og i den utvikling som har skjedd med dem i den senere tid, så blir det nødvendig – selv om det her gjelder en kortfattet fremstilling av systemets historie – å gi en oversikt også over utviklingen av de symboler som er brukt for tall og for tallrelasjoner. Og man må komme inn på den samling av vedtatte regler for bruken av symbolene. Det er symboler og regler som er selve elementene i et komplekst enhetssystem og som gir det dets fremtredende plass innen de moderne eksakte vitenskaper.

Av økonomiske grunner var det allerede i de fleste eldre sivilisasjoner et behov for å kunne gjøre kvantitative målinger av jordarealer og av mengde av matvarer, av vann og av materialer. Der var også behov for etablering av en pålitelig tidsskala og av en kalender. Det gav støtet til innføring av systemer for telling og for skriving av tall. Og det førte til at man konstruerte *mål* (d.v.s. materielle realiseringer av enheter, slik som lodd og hulmål) og også til at man opprettet målsystemer for mange forskjellige formål. Her vil vi selvsagt ikke komme inn på detaljene i denne historie. Vi vil begrense oss til noen hovedpunkter som har vesentlig betydning for vårt emne.

Allerede i det målsystem som bruktes i oldtidens Egypt ble for lengder, arealer og volum benyttet et desimalt system for tallskriving med særlige symboler for tallene 1, 10, 100, 1000. Og også når det gjalt å gi uttrykk for målresul-

tater som var multipler av hovedenheten ble det benyttet spesielle navn for enheter som var desmale multipler, selv om dette ikke ble gjennomført systematisk. Således var *meh* hovedenheten for lengde og *khet* var lik 100 meh. For måling av jordarealer var enheten *sethat* brukt, den var lik 1 kvadrat-khet. Men man brukte ikke desimale brøker for undermultipler av *meh*. Således var f.eks. *shesap* lik ⅙ meh, og *djeba* lik 1/24 meh.

Man vet at sumererne og babylonierne brukte et sekstitallssystem. Det hadde mange fordeler for 60 er delelig med 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, osv. Kjennskapet til astronomi og til måling av tid hadde nådd et meget høyt nivå i de gamle mesopotamiske sivilisasjoner, og dette har hatt en så stor innflytelse på den senere utvikling av naturvitenskapene at vesentlige karakteristikker av sekstitallssystemet er vedlikeholdt i vestens kultur. Ennå deler vi timen i 60 minutter og minuttet i 60 sekunder. Og disse tidsenheter er i bruk over hele verden slik at man i det nåværende internasjonale enhetssystem har måttet beholde dem som de er. Babyloniernes målsystem var dog ikke systematisk basert på seksagesimal divisjon. Således ble en *kus* delt i 30 *shusi,* og *kus* var en tolvtedels *gar,* denne siste nevnte enhet var meget brukt under landmåling og var omtrent lik 5 meter.

At et nytt og meget viktig fremskritt ble gjort, har man kunnet konstatere ved tydningen av sumerernes kileskrifttekster. Deres symbol for 60 var det samme som for 1. og den verdi som man skulle tillegge dette symbol avhang av symbolets posisjon i tallet. I sin tallskriving hadde altså sumererne innført et posisjonssystem; egypterne derimot gjentok symbolene for 1, 10, 100 så mange ganger som det var nødvendig for å skrive store tall. Man vet at innføringen av posisjonsskrivemåten har vært av den største viktighet for en forenkling av regning med tall; men lange tider gikk før egypternes desimalsystem ble kombinert med posisjonssystemet.

På dette stadium måtte man ha særegne symboler for tallene 1 til 9 og for null. Null ble innført av inderne i de første århundrer av den kristne tidsregning. Av de indiske symboler utviklet det seg såvel de arabiske siffre som brukte i oksidenten og som våre siffre er avledet av, som de arabiske siffre som bruktes i orienten og som har gitt den nåværende arabiske skrivemåte.

De allereldste inskripsjoner som nyttet et virkelig desimalt posisjonssystem med indiske siffre, er datert til ca. år 600 i vår tidsregning. Det synes som om null ble brukt for første gang et hundre år senere.

Innføringen av disse siffre i Vesteuropa møtte sterk motstand. I Europa hadde man fra romerne arvet de romerske siffre med den kompliserte skrivemåte for tall. Og for regning med tall hadde man arvet kulerammen, abakus.

Indoarabiske siffre med posisjons skrivemåte, med tallene 1 til 9 og med null i symbolform, ble gjort kjent gjennom bøker om indisk matematikk som ble utgitt av den arabiske forfatter Al-Khwarizmi. I det tolvte århundre ble disse bøker oversatt til latin av en engelsk munk. Men i Vesteruopa reagerte man mot bruken av indoarabiske siffre. Det ble ofte forbudt å bruke slike siffre i bankene, som fryktet forvirring. Krangelen mellom *abakistene* og tilhengerne av Al-Khwarizmi som ble kalt *algoritmikerne,* varte til henimot det femtende århundre. Men etterhvert ble folk overbeviste om fordelene ved bruken av arabiske siffre og posisjonssystemet, slik vi bruker tallene idag.

Før vi forlater dette vil vi gjøre oppmerksom på at det var nok et utviklingstrinn å passere. Man måtte innføre den desimale skrivemåte for brøker.

Tidligere skrev man i allminnelighet f.eks. 8¼ og 137⅜ i stedet for 8,25 og 137,375. Hvem man skal gi æren for oppfinnelsen av desimal skrivemåte for brøker, vet man ikke med sikkerhet. Kineserne brukte slik skrivemåte ca. år 1200 efter Kristus; men i Europa tror man at innføringen av desimalbrøk for en stor del skyldes Simon Stevin fra Leyden, som i 1585 publiserte sitt berømte essay *De Thiende* (Tiendeparten). Dette ble snart oversatt til fransk og engelsk. I dette essay ble desimalbrøker etter posisjonssystemet innført og moderne regnemåte med desimalbrøker ble detaljert demonstrert. Innføringen av kommaet skyldes John Napier, oppfinneren av logaritmene.

Fra Simon Stevins side kom også et annet meget viktig bidrag idet han foreslo at de mange varianter av vilkårlige brøker og multipla av hovedenhetene som dengang ble benyttet som enheter for lengde, areal og volum, skulle erstattes av desimale multipler og undermultipler. Og han foreslo også at man skulle bruke desimale undermultipler av enheter i astronomi (vinkler!) og i myntsystemet. Dette forslag er et bevis på at Stevin forutså behovet for et godt målsystem for fremtidig bruk. Fra den regnemessige side sett forelå jo da de nødvendige forutsetninger for bruken av et godt enhetssystem.

Etter dette korte streiftog inn i tallenes hi-

storie, hvor hovedvekten er lagt på den betydning som tallene har som vesentlige elementer for presise uttrykk av måleresultater, vender vi tilbake til selve målenhetene.

Innen området mål og vekt hadde man i Europa arvet fra romerne den måte som bruktes for å angi kvantum av varer. Romernes mål og vekt var basert på grunnenhetene *pes* (fot) for lengde, og *libra* (pund) for vekt. Volumenheten *amphora* var en kubikk-pes. For landmålingsformål var et kvadrat med sidekant 1 pes alltfor liten, man brukte i romertiden *jugerum* som var et areal lik det dobbelte av et kvadrat med sidekant 120 pes. Også et stort antall andre enheter eksisterte. De var enkle brøkdeler eller små multipla av hovedenhetene, uten systematisk bruk av desimale multipla eller undermultipla av hovedenheten. Man bemerker at tiltrots for at romerne hadde en desimal måte å telle på, så hadde de ikke i bruk et desimalsystem for enhetene for mål og vekt.

Et stort antall av romernes mål- og vekt-enheter forble fortsatt i bruk i Vesteuropa. Men det lensvesen som oppstod etter det vestlige romerrikes fall, førte til at det fra sted til sted kom i bruk enheter som avvek fra hverandre. Det forårsaket stor forvirring. Keiser Karl den Store utstette allerede i 789 et dekret for å innføre ensartethet i alle de land som var forenet under hans herredømme. Men dette tiltak ble ikke satt i verk på grunn av at Karl den Store's rike gikk i oppløsning.

Det nye borgerskap i de store, viktige og uavhengige byer som fra begynnelsen av det fjortende århundre var oppstått i Italia, Frankrike, Tyskland og andre land, og dette borgerskaps utvikling av en økonomi som var basert på industri og pengevesen, gav støtet til et handelssamkvem, til lands og til sjøs, som ble en spore til vitenskapernes fremgang innen matematikk, astronomi, mekanikk og teknikk. Den kvantitative side ved erhverslivet var blitt stadig viktigere og hadde som konsekvens at man ble mer og mer interessert i mål og vekt. I de store kongeriker i det femtende og sekstende århundre ble flere forsøk gjort på å innføre veldefinerte mål- og vektsystemer. Dronning Elisabeth I innførte således i England i slutten av det sekstende århundre som enhet for vekt *pound avoirdupois* (med verdi som det nåværende), delt i 16 ounces, og som enhet for lengde *yard* delt i 3 feet, og med 1 foot lik 12 inches.

Og allerede i det femtende århundre var i Frankrike vektpundet blitt definert ved *Karl den store's loddsats*. Den hadde ikke desimal deling. Og omkring år 1670 ble innført *Châtelet's favn*. En sjettedel av den var definisjonen på lengden av den *kongelige fot*. Og dette var den franske fot (32,5 cm) hvorav man utledet tommen, linien og punktet ved hver gang å dele med 12.

Men til trots for disse rosverdige forsøk fortsatte forvirringen innen mål og vekt. Faktisk lykkedes det aldri for den franske regjering å påtvinge de parisiske enheter til bruk i hele Frankrike. Og i Europa fortsatte det å eksistere en enorm variasjon av enheter innen mål og vekt.

OPPRINNELSEN TIL METERSYSTEMET.

Det uholdbare ved tilstandene innen mål og vekt i det syttende og det attende århundre var det ikke bare folk innen regjeringskretser som var blitt klar over. Også de vitenskapsmenn hvis arbeid betød de første viktige skritt i retning av moderne eksperimentalvitenskap, ble mer og mer klar over forvirringen og usikkerheten ved målenhetene som også vitenskapsmennene måtte betjene seg av for å kunne angi sine eksperimentelle resultater. I 1742 gjorde en gruppe vitenskapsmenn en omhyggelig sammenligning av de parisiske og de engelske mål som den gang ble benyttet. Det viste seg da at den franske fot var 6 % og det franske pund var 8% større enn engelsk fot, resp. pund.

Vitenskapsmennene begynte da å søke etter hensiktsmessige universelle enheter, som skulle kunne være ens i alle land, og ikke være knyttet til noe bestemt land. For lengde fremkom to forslag som var meget avvikende fra hverandre. Det ene forslag var at sekundpendelens lengde skulle være enhet for lengde. Det andre forslag var en lengdeenhet som skulle være avledet av lengden av en meridianbue. Det første forslag var allerede tidligere blitt fremlagt av den franske astronom Mouton (1670) og av Huygens (1673), samt støttet av Royal Society of London. I Frankrike fremla Talleyrand i 1790 et offisielt forslag i denne retning for Assemblée Nationale Constituante. Men det franske vitenskapsakademi forkastet forslaget fordi, som kjent, sekundpendelens lengde avhenger av tyngdens akselerasjon og altså ikke er én og den samme fra sted til sted på jorden. Vitenskapsakademiet foretrakk derfor det annet forslag, og på akademiets anbefaling vedtok nasjonalforsamlingen i 1791 prinsippet om et mål- og vektsystem som helt og holdent skulle baseres på grunnenheten for lengde, meteren.

Denne skulle være en timilliontedel av jordmeridiankvadrantens lengde. Enheter for areal og for volum skulle være desimale multipler og undermultipler av kvadratmeter og kubikkmeter, og enhet for vekt (eller masse) skulle være vekten (eller massen) av én kubikkdesimeter vann ved temperaturen for vannets maksimale tetthet (4°C).[1] Systemet skulle være helt desimalt; prefiksene milli, centi, desi, deka, hekto og kilo skulle tilføyes enhetens navn for å få multipler og undermultipler. Da systemet helt og holdent var bygget på meteren, ble det kalt *metersystemet.* Det er det navn som det har beholdt mens systemet smått om senn ble innført over store deler av kloden. Dessværre anså den engelske og den amerikanske regjering det franske forslag som urealiserbart og bestemte seg for å bassere sin lengdeenhet på sekundpendlets lengde, slik at franskmennene ble stående alene om å gjennomføre metersystemet.

Straks etter denne avgjørelse målte Delambre og Méchain meridianbuen mellom Dunkerque og Barcelona. Og Lavoisier og andre gjorde nøyaktige bestemmelser av vekten (massen) av et kjent volum vann. På grunnlag av disse målinger ble det laget en normal av sintret platina som ved sine endeflater definerte meteren, og det ble laget en platinanormal for kilogrammet. Disse normaler ble den 22. juni 1799 deponert i Den franske republikks arkiver i Paris.

Disse to normaler ble i virkeligheten utgangspunktet for den videre utvikling helt opp til våre dagers internasjonale enhetssystem som er i bruk i et stort antall land. Allerede i 1794 sa Lavoisier: «Aldri har noe større, noe enklere og noe som i alle deler er mere harmonisk, utgått fra menneskehånd.»

Men fra et formelt synspunkt må man si at sluttresultatet som var et lovfestet valg av arkivmeteren og arkivkilogrammet som normaler for lengde og vekt (masse), det representerte i virkeligheten et system som var definert ved *to* materielle normaler. Det var et system som med tiden kunne vise seg å avvike fra det opprinnelig vedtatte definisjonsgrunnlag som var jordmeridiankvadranten og vannets tetthet. Faktisk har man senere oppdaget at arkivmeteren er 0.2 mm kortere enn én timilliontedel av jordmeridiankvadranten., og at massen av arkivkilogrammet er lik massen av 1,000 028 dm^3 vann ved dets største tetthet, istedetfor å være eksakt lik 1 dm^3.[2]

1. Allerede romerne hadde valgt deres volumenhet amphora slik at den mengde vann som kunne inneholdes i 1 amphora veiet eksakt 1 attisk talent.

METERKONVENSJONEN.

Det franske initiativ hadde gitt startsignalet for metersystemet til et seierstog ut i verden. Allerede i 1820 var dette system ved dekreter blitt innført i Nederlandene (som var Holland, Belgia og Luxemburg), Spania, Colombia, Mexico, Portugal og Italia. Og flere land kom snart etter. Metrisk mål og vekt til bruk sammen med *the imperial system* ble gjort gyldig i 1864 i Storbritania og i 1866 i USA. Noen år senere ble metersystemet innført i Tyskland.

Under verdensutstillingen i Paris i 1867 hadde en stor gruppe av vitenskapsmenn, som var imponert over den gigantiske industrielle utvikling i verden, dannet en komite for mål, vekt og mynt. Denne komite skulle ha som oppgave å sikre en større ensartethet av målinger som utførtes rundt om i verden. Som en følge av dette rosverdige tiltak inviterte den franske regjering i 1869 flere land til å sende delegerte til Paris til en *Internasjonal Meterkonvensjon.* I alt oppnevnte 26 land delegerte og møtene begynte i august 1870. Størsteparten av dem som deltok i møtene hadde følelsen av at arkivmeteren og arkivkilogrammet burde tjene som referanse for å fremstille nye prototyper, samt for å skaffe kopier som kunne fordeles til de deltakende land.

Uheldigvis ble dette arbeid avbrutt av den fransk-tyske krig. Den samme kommisjon, men med delegerte fra 30 land, møtte på nytt i 1872. Den bekreftet de tidligere vedtak om å konstruere nye prototyper for meter og kilogram og å anskaffe et stort antall kopier. Alle disse normaler skulle være laget av én og samme smelte av en spesiallegering av platina med 10% iridium. Normalene for meteren skulle være målestaver med x-formet tverrsnitt. De nye prototyper skulle definere de samme verdier som arkivmeteren og arkivkilogrammet, så godt det lot seg gjøre.

Den 1 mars 1875 sammenkalte den franske regjering den så kalte *Conférence Diplomatique du Métre.* Til denne sendte 20 land offisielle representanter og vitenskapsmenn, utstyrt med fullmakt til å signere en overenskomst på vegne av sine regjeringer.

Disse delegerte godkjente et forslag fra en spesiell studiekommisjon, slik at Meterkonven-

2. Denne lille differanse har vært kilden til langvarige stridigheter med hensyn til literen som var definert som volumet av 1 kg vann ved dets største tetthet, og ikke som 1 dm^3. I 1964 ble den gamle definisjon på literen forlatt. Ved nytt vedtak ble literen definert som 1 dm^3.

sjonen til slutt kunne signeres den 20 mai 1875.

Den konstituerte *Internasjonale Komite for Vekt og Mål* (C.I.P.M.) gikk i gang med å forberede fabrikasjonen av prototypene og kopiene av meter og kilogram. Man måtte overvinne tallrike meget alvorlige vanskeligheter, og det var en sann vitenskapelig succés da man i 1889 under den første *Generalkonferanse for Mål og Vekt* kunne fordele de nasjonale prototyper og godkjenne de to internasjonale prototyper for meter og kilogram. Disse er siden blitt betraktet som grunnlaget for metersystemet.

Prototypene skulle oppbevares i Bureau International des Poids et Mesures, som skulle være sentral-laboratoriet for de fremtidige internasjonale sammenligninger og være det internasjonale senter for utbredelsen av metersystemet. Det internasjonale byrå skulle arbeide under direksjon og overvåking av den internasjonale komite C.I.P.M., og denne komité skulle stå under Generalkonferansens myndighet.

Vi vil ikke her presentere Det internationale byrås historie. Den er knyttet til komiteen og dennes konsultative underkomiteers historie. Det vil bli behandlet i andre deler av denne bok. Vårt emne er en kortfattet gjennomgåelse av de vitenskapelige ideers utvikling med hensyn til enheter. Og vårt emne er spesielt hvorledes disse enheter må være knyttet sammen for å danne et system.

(forts. neste hefte)

Bøker

(forts. fra s. 77)

De øvrige artiklene tar for seg Mössbauerspektroskopien anvendt i i) kjemi, ii) magnetisme, iii) biologi, iv) lunar geologi og mineralogi og v) fysikalsk mettallurgi. De er hver for seg vel skrevet. Men sett under ett bærer artiklene preg av dårlig redigering. En rekke gjentakelser burde vært unngått ved f. eks. bruk av gjensidig henvisninger eller ved at en del viktig fellesstoff hadde vært samlet i innledningsartikkelen. Ser en bort fra dette, er boken å anbefale for studenter og forskere interesserte i disse fagområder hvor Mössbauerspektroskopien kan komme inn som et viktig supplement til andre målemetoder.

Torbjørn Sikkeland

Svenska Fysikersamfundets årbok: Kosmos. Bd. 51, 1974, 142 s.

Det forliggende bind av Kosmos er særlig lett å omtale, fordi man denne gang har konsentrert seg om to emnegrupper, nemlig «tunnelling» i faste stoffer, og astrofysikk. Den første sektoren har fått tre artikler og den andre seks. Også om man ser på sidetallet, får man omtrent fordelingen en til to. Dette må sies å være rimelig, ettersom den ene sektoren er nokså spesiell, mens den andre er meget omfattende, for ikke å si altomfattende.

Artiklene er velskrevne og stort sett lagt slik an at enhver med fysikkunnskaper litt utover realartium vil ha glede av å lese dem. Noen detaljert omtale av de enkelte artikler skal ikke gis her. Og uten at de bør gå noen av de andres ære for nær, skal vi innskrenke oss til å nevne bare en av forfatterne: Pierre Simon de Laplace.

Boka har det noe spesielle format som denne publikasjon har brukt de siste årene. Typografisk er det en delikat trykksak. Denne gang er den kulørte del i rødbrunt.

Njål Hole

T. Tamir (ed.): Integrated Optics. Volum 7 i serien: Topics in Applied Physics. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1975, 315 sider. Pris innbundet DM 79.80.

Integrert optikk er egentlig en betegnelse for elektrooptiske systemer hvor flere miniatyriserte enkeltkomponenter er fremstilt samlet i en enhet, analogt med integrerte elektroniske kretser. Betegnelsen er imidlertid oppstått og innarbeidet lenge før integrerte optiske kretser engang har nådd utviklingsstadiet. Det har foregått en intens forskning omkring prinsipper og fenomener, og det er utviklet en rekke enkeltkomponenter i teknologier som egner seg for integrasjon, men det er praktisk talt ikke publisert noen arbeider omkring virkelig integrerte optiske kretser. I praksis er derfor integrert optikk blitt en betegnelse for prinsipper, teknologier og komponenter basert på utbredelse av lys i en bølgeleder som på en eller annen måte er fremstilt i eller nær overflaten av et amorft eller krystallinsk materiale.

Det er også i denne betydning at den foreliggende bok handler om integrert optikk. På side 6 presenteres en fantasiskisse av et integrert system, men siden nevnes ikke integrasjon med et ord. Som en relativt grundig oversikt over de fleste aspekter ved plane optiske bølgeledere er imidlertid boken ganske vellykket. Undertegnede har en inngrodd mistillit til bøker med mange kapitler skrevet av forskjellige forfattere. Selv om den foreliggende bok er en plussvariant, er fremstillingen langt fra ensartet. Boken begynner med en grundig, matematisk preget, behandling av optiske bølgelederes egenskaper. Den samme stringens og grundighet finnes imidlertid ikke igjen lenger ute i boken. Særlig kapitlet om modulasjon og svitsjing har et meget refererende preg. Det må også innvendes at den teknologiske siden er nokså mangelfull, idet en rekke interessante teknikker basert på enkrystaller er utelatt fullstendig. Disse innvendinger til tross, boken kan tjene som en god innføring og oversikt for studenter og forskere. Fyldige referanselister gjør det mulig å trenge dypere inn i stoffet.

Kjell Bløtekjær

Strålingsskader i „arvemolekylene" ved magnetisk resonansspektroskopi

Einar Sagstuen

Innledning

Elektro-spinn resonans- (ESR-) spektroskopi er en teknikk som har utstrakt anvendelse innenfor molekylær strålingsbiologi og biofysikk. Det er nok å nevne anvendelsesområder som fotobiologi, kreftforskning (Henriksen, 1967), strålingskjemi- og biologi (Henriksen, 1964), membranbiofysikk (Odgaard, 1974) samt metallo-enzymers biokjemi. Årsaken til denne popularitet ligger i at metoden er spesielt egnet til å påvise – og også ofte karakterisere – molekyler med uparede elektroner, uten at molekylene derved endres eller ødelegges. Til vanlig er elektronene i et molekyl paret i kjemiske bindinger eller på annen måte. En del systemer har imidlertid uparede elektroner, og den mest omfattende gruppen av slike forbindelser er frie radikaler. Frie radikaler er svært reaktive forbindelser og inngår i et stort antall betydningsfulle biokjemiske reaksjoner. Således er studiet av disse stoffers vekselvirkninger med sine omgivelser vesentlig for forståelsen av normale og patologiske prosesser i biologisk materiale.

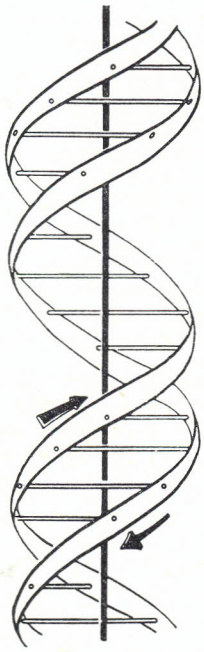


Fig. 1. Wilkins-Watson-Crics tredimensjonale modell av DNA-molekylet. Her danner sukker-fosfatkjedene sidekantene og baseparene «trinnene» i denne «vindeltrappen» (etter: «Quantum Biochemistry», A. Pullmann og B. Pullmann, Interscience Publishers, New York 1963).

I levende organismer eller celler vet man at ioniserende stråling gir opphav til forskjellige virkninger som f. eks. mutasjoner og celledød. Årsakene til disse markerte biologiske effekter er sannsynligvis at en eller flere betydelige biologiske funksjoner i cellen opphører eller endres. Fra et fysikalsk synspunkt kan en celle betraktes som en ansamling av molekyler ordnet på en slik måte at biologiske funksjoner kan utføres. Følgelig vil en endring i disse funksjonene kunne tilskrives fysiske eller kjemiske endringer av molekylene i cellen. Når det gjelder små molekyler er strålingsskader i disse ikke av en så stor betydning for en celles biologiske inaktivering. Det finnes tusener eller millioner av hver type molekyler med lav molekylvekt i en celle, hvilket tilsier at det er liten sannsynlighet for at skader i noen få av disse vil kunne influere på cellens biologiske funksjoner. De molekyler som kan virke som et primært mål for strålingsinduserte skader må være slike som er av vital betydning for cellen. Blandt denne typen forbindelser finner vi makromolekylene deoxyribonukleinsyre (DNA) og ribonukleinsyre (RNA).

Nukleinsyrene, struktur og funksjon

DNA, som er hovedbestanddelen av cellekjernene, inntar en sentral posisjon i livsprosessene, da dette molekyl inneholder den genetiske informasjon, dvs. den informasjon som er nødvendig for at cellen skal kunne produsere de nødvendige proteiner (enzymer). Disse regulerer igjen metabolismen. Enhver skade som introduseres i DNA er følgelig av generell interesse.

I Fig. 1 er det vist en skjematisk tredimensjonal modell av DNA-molekylet. I følge Wilkins-

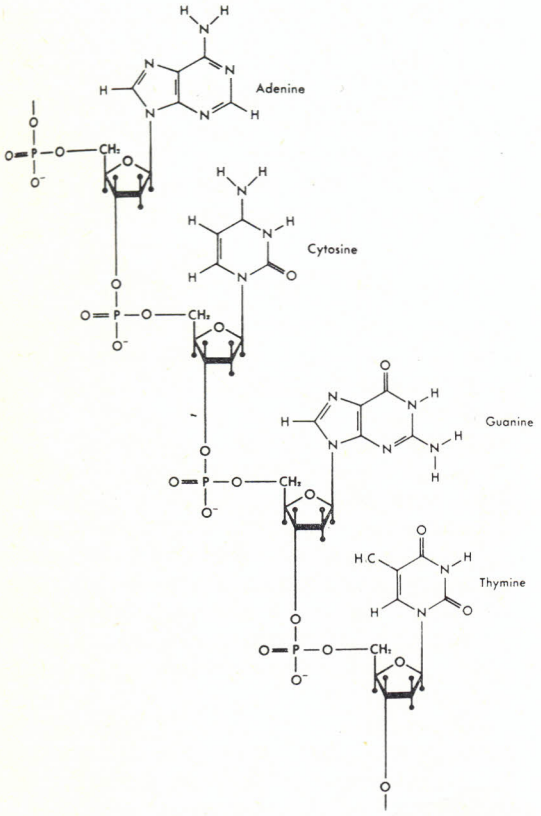


Fig. 2. Kjemisk struktur av byggestenene i DNA-molekylet (etter: «The Molecular Biology of the Gene», J. D. Watson. Benjamin Inc., New York 1965).

Watson-Crick modellen består dette av to sukker-fosfatkjeder som er tvunnet om hverandre til en dobbelt helix. Til hvert sukkermolekyl er det bundet én av fire organiske baser, hvis strukturformler er vist i Fig. 2. To av disse basene er pyrimidinderivater (tymin (T) og crytosin (C)) og to er purin-derivater (adenin (A) og guanin (G)). Sukkerfosfatkjedene er bundet sammen med hydrogenbindinger mellom én purin og én pyrimidinbase. Foruten dette utvalg av basekombinasjoner er det ytterligere en spesifikasjon av mulighetene. Denne består i at av fire mulige kombinasjoner mellom en purin- og en pyrimidinbase er det bare to som blir brukt, nemlig A–T og G–C. Man mener at den genetiske koden ligger lagret i rekkefølgen av baser langs sukker-fosfatkjedene. Dette betyr at koden er en funksjon av de spesifikke hydrogenbindinger.

RNA er en éntrådet «kopi» av DNA-molekylet som syntetiseres på DNA, vandrer ut i cellen og slår seg ned på noen små cellepartikler kalt ribosomer. Her styrer dette molekylet syntesen av cellens enzymer. Kjemisk sett er RNA forskjellig fra DNA ved at det inneholder en litt annen variant av sukkermolekylet, samt at RNA ikke inneholder tymin, men en annen pyrimidinbase, uracil (U). Her er tymins methylgruppe ($-CH_3$) byttet ut med et hydrogenatom ($-H$). Denne forskjellen influerer imidlertid ikke på basenes hydrogenbindingsegenskaper, da det er andre deler av molekylet som inngår her.

Hvilke mulige biologiske virkninger kan en så forvente som følge av strålingsskader i nukleinsyrene? Brudd i sukker-fosfatkjedene i DNA vil ofte føre med seg alvorlige endringer i molekylets struktur og celledød er den vanligste virkning av slike skader. Større eller mindre modifikasjoner av basene vil kunne endre molekylets informasjonsinnhold og gir derved opphav til mutante celler. Dette åpner for et spektrum av videre utviklingsmuligheter ved at de mutante celler enten viser seg levedyktige (vi får en mutasjon), de kan begynne å vokse uhemmet (vi får en svulstdannelse) eller de vil ikke vokse i det hele tatt (celledød). Årsaken til at slike effekter vil kunne forekomme er at endringer i den genetiske koden kan lede til dannelsen av gale enzymer, eller at viktige enzymer helt mangler. Dette vil ha som følge at cellens livprosesser ikke lenger vil kunne fungere normalt. Skader i RNA vil ha noe av den samme virkning som baseskader i DNA har.

I nukleinsyrer, som i all annen materie, er de primære produkter ved ioniserende stråling ionisasjons- og eksitasjonsprodukter. I alle modeller som er satt opp for den videre utvikling av disse primærskader inntar frie radikaler en sentral rolle som reaktive intermediater. For å kunne forstå mekanismen til virkningen av ioniserende stråling på nukleinsyrer er det følgelig av betydning å kartlegge de dannede radikalene og deres reaksjoner. Her er det ESR-spektroskopi kommer inn med sin evne til å detektere frie radikaler med høy sensitivitet.

Elektron-spinn resonans-spektroskopi

Et fritt radikal (atom eller molekyl) med ett uparet elektron kan behandles som et spinn $S = \frac{1}{2}$ system. I et ytre magnetfelt $\mathbf{H}$ vil degenerasjonen av spinn-tilstanden heves idet det odde elektrons magnetiske moment

$$\mu_e = -g\beta\mathbf{S} \qquad (1)$$

innrettes parallellt eller antiparallellt med $\mathbf{H}$ (Zeemann-effekt). Her er g den elektroniske splittingsfaktor ($g = 2{,}00232\ldots$ for et fritt elektron) og β er Bohrmagnetonet for et elektron $eh/4\pi m_e c$. Energinivåene vil da være gitt ved

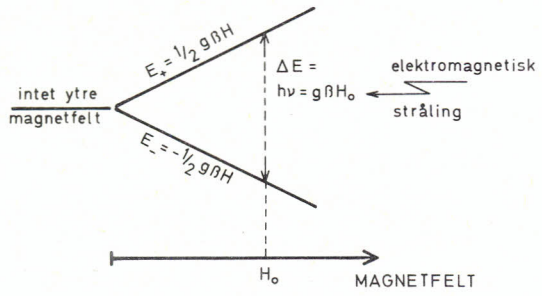


Fig. 3. Oppsplitting av spenningstilstanden i et ytre magnetfelt.

$$E \pm = -\mu \cdot \mathbf{H} = \pm \tfrac{1}{2} g\beta H \qquad (2)$$

der $m_s = \pm \frac{1}{2}$ er det magnetiske spinnkvantetallet. En kan beskrive dette ved et energinivådiagram som i Fig. 3, hvor separasjonen mellom nivåene vil være

$$\Delta E = E_+ - E_- = g\beta H. \qquad (3)$$

For en ansamling av N uparede elektroner i det ytre magnetfeltet vil besetningen av energinivåene være gitt ved en Boltzmannfordeling,

$$N_+/N_- = \exp(-\Delta E/kT) \qquad (4)$$

dvs. noen flere elektroner vil være i det laveste nivået enn i det høyeste. Dersom en lar elektromagnetisk stråling falle inn på dette systemet vil overganger mellom energinivåene kunne induseres. På grunn av den ulike fordeling av elektroner mellom energinivåene vil en derved kunne måle en netto absorpsjon av energi fra strålingsfeltet. Betingelsen for at absorpsjon skal finne sted er at den innfallende strålingen må ha en energi gitt ved

$$h\nu = \Delta E = g\beta H. \qquad (5)$$

For at denne resonansbetingelsen skal oppfylles må et ESR-eksperiment arrangeres som skissert i Fig. 4. I prinsippet kan enhver frekvens ν brukes, men av forskjellige praktiske hensyn anvendes vanligvis ca. 9,3 GHz, svarende til en magnetfeltstyrke på ca. 3300 gauss (1 gauss $= 10^{-4}$ Tesla).

Det som åpner for bruk av ESR-spektroskopi innenfor strålingsforskning er at et ESR-spektrum kan betraktes som et «fingeravtrykk» av det enkelte radikal. Dette skyldes at energiabsorpsjonen aldri finner sted ved én enkelt frekvens for et konstant magnetfelt, slik som likn. (5) skulle tilsi. Det odde elektronet vekselvirker ikke bare med det ytre magnetfeltet men også med sine omgivelser, i første rekke nærliggende elektroner og kjerner. Dette leder til en forbredning og oppsplitting av resonansen, foruten en forskyvning av resonansen i magnetfeltet. Det er nettopp disse tre trekk ved absorpsjons-spektret som måles og som karakteriserer de forskjellige radikaler. Viktig ved de ovenfor nevnte karakteristika er også avhengigheten av radikalenes orientering i magnetfeltet. En har vist at Hamiltonoperatoren for spinnsystemet i en første tilnærmelse kan skrives på formen

$$H = \beta \mathbf{S} \cdot g \cdot \mathbf{H} + \Sigma_i S \cdot A_i \cdot \mathbf{I}_i . \qquad (6)$$

Her er g og A tensorer og $\mathbf{I}_i$ er kjernespinnoperatoren for den i-te vekselvirkende kjerne.

g-tensoren er ganske isotrop i de tilfelle som skal omtales her, med avvik fra det frie elektrons g-verdi på ca. 0,1 %. Dette avviket, som er et mål for koplingen mellom det odde elektrons egenspinn $\mathbf{S}$ og banespinn $\mathbf{L}$, gir en forskyvning av resonansen i det ytre magnetfeltet i forhold til resonansen fra et fritt elektron. Analysen av denne tensoren gir vanligvis lite informasjon pga. den lille anisotropien, men i enkelte tilfelle kan nettopp kjennskap til g være avgjørende for bestemmelsen av et radikals elektronstruktur.

Det andre leddet i likn. (6) beskriver vekselvirkninger mellom det uparede elektron og kjerner med kjernespinn $\mathbf{I}$. Dette leddet har bidrag fra to forskjellige typer vekselvirkninger. Den ene delen, kalt Fermi's kontaktvekselvirkning gir uttrykk for hvor mye av det odde elektronet som befinner seg på kjernen. Den andre delen skyldes dipol-dipol vekselvirkning mellom elektronets og kjernens magnetiske momenter og er følgelig meget avhengig av radikalenes orientering i magnetfeltet. Totalt gir det andre leddet i likn. (6) uttrykk for at hver kjerne med kjernespinn $\mathbf{I}$ splitter absorpsjonslinjen opp i $2I + 1$ ekvi-intense linjer med retningsavhengige splittinger.

Ut fra disse betraktninger kan vi summere

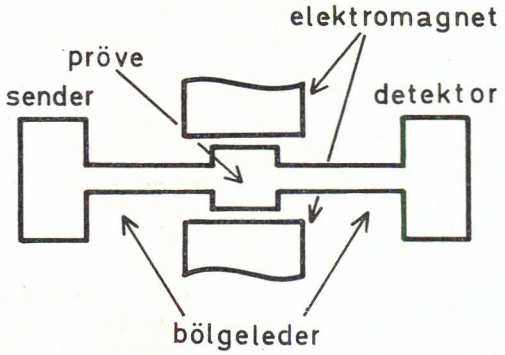


Fig. 4. Prinsippiell oppbygning av et ESR spektrometer.

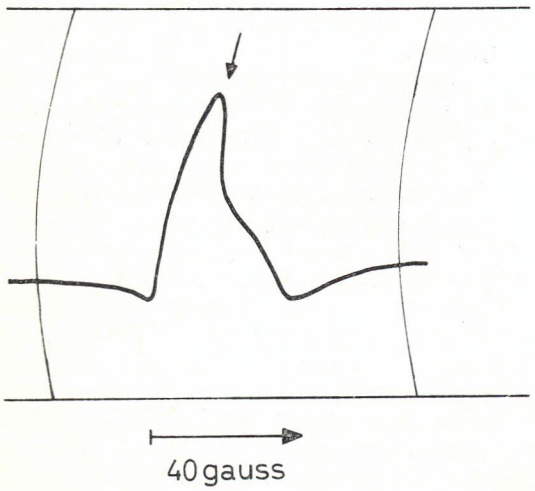


Fig. 5. Annen-derivert ESR-spektrum av polykrystallinsk DNA bestrålt ved værelsestemperatur (etter: A. Müller, 1967).

opp den informasjon en kan søke ved et ESR-eksperiment:

1. Antall resonanslinjer, som forteller om hvilke kjerner det odde elektron vekselvirker med,
2. avstanden mellom resonanslinjene fra de forskjellige kjerner. Denne retningsavhengige størrelsen forteller om styrken av det uparede elektrons vekselvirkninger med kjernene, eller mere generelt, om den uparede spinntetthetsfordelingen i radikalet.
3. Resonansens plasering i det ytre magnetfeltet, dvs. størrelsen av den spektroskopiske splittingsfaktoren, g.
4. Intensitet og linjebredder, og
5. det totale antall frie radikaler, som er proporsjonalt med arealet under absorpsjonskurven.

På grunn av retningsavhengigheten i ESR-parametrene vil det spille en stor rolle for hvilken informasjon en ønsker å trekke ut av et spektrum hvilken form, eller fase, prøven er i. I væskefase, når konsentrasjonen av radikaler er liten nok, vil de anisotrope bidrag i Hamiltonoperatoren midles ut i tid, og en vil kunne bestemme de isotrope hyperfinkoplingskonstanter a (= ⅓. Trace A) og g (= ⅓ Trace g). Ved å variere radikalkonsentrasjonen og enkelte parametre hos løsningsmidlet vil en ved å studere linjebredder og spektralformer kunne få informasjon om radikalenes bevegelse i væsken (Odgaard, 1974). Med prøver i polykrystallinsk- eller pulverform (evt. frosne løsninger) vil radikalene være tilfeldig orientert i forhold til hverandre og det ytre magnetfeltet. Svært ofte er det vanskelig å trekke noen strukturell informasjon ut av slike spektre. I molekylære énkrystaller, derimot, vil alle radikaler være fast orientert i forhold til hverandre og magnetfeltet, og ved studiet av slike prøver kan A og g bestemmes fullstendig, samt tensorenes prinsipalretninger i forhold til den molekylære struktur. En kan si at optimal informasjon om radikalenes struktur fåes ved studier av denne typen.

Den eksperimentelle bestemmelsen av tensorene ved énkrystallstudier går i korthet ut på at en måler g-verdien og hyperfinsplittingen i tre gjensidig orthogonale plan. Dersom en f. eks. roterer krystallen om en z-akse og lar magnetfeltet være i xy-planet kan det vises at den angulære avhengighet av hyperfinsplittingen i dette planet er gitt ved

$$A^2(\Theta) = (A^2)_{xx}\sin^2\Theta + 2(A^2)_{xy}\sin\Theta\cos\Theta + (A^2)_{yy}\cos^2\Theta \qquad (7)$$

der Θ er vinkelen mellom x-aksen og magnetfeltets retning. Ved en tilpasning mellom de eksperimentelle punkter og denne sinusoidale kurven bestemmer en størrelsene $(A^2)_{xx}$, $(A^2)_{xy}$ og $(A^2)_{yy}$. Tilsvarende finner en de resterende elementer i $(A^2)_{ij}$-matrisen ved å rotere i de to andre planene. Ved en diagonalisering av denne matrisen finner en prinsipalverdiene og retningene til A^2. Prinsipalverdiene til A er kvadratroten av prinsipalverdiene til A^2, og prinsipalretningene er de samme. Som en forstår kan en ikke bestemme fortegnet til koplingene på denne måten, de finner en ved å studere noen av de finere vekselvirkninger som ikke er tatt med her. Den samme prosedyre brukes også for bestemmelse av g.

Eksperimentelle resultater

A. Bestrålt DNA – polykrystallinsk

Dersom en ønsker å studere strukturen av strålingsinduserte skader i nukleinsyrene møter en på det problemet som molekylære énkrystaller representerer. Det viser seg nemlig at det av disse aperiodiske makromolekylene praktisk talt er umulig å fremstille krystaller som er store nok til å kunne brukes i ESR spektroskopi (dvs. med en masse på 1 mg eller mere).

De første ESR studier av DNA ble gjort på polykrystallinsk materiale i 1959. Det observerte spektrum* (et eksempel er vist i Fig. 5) besto av en enkelt, bred og assymmetrisk linje som klart representerte et sammensatt bilde av flere

* Av tekniske årsaker moduleres alltid hovedmagnetfeltet således at det er 1. eller 2. deriverte av absorpsjonskurvene som presenteres.

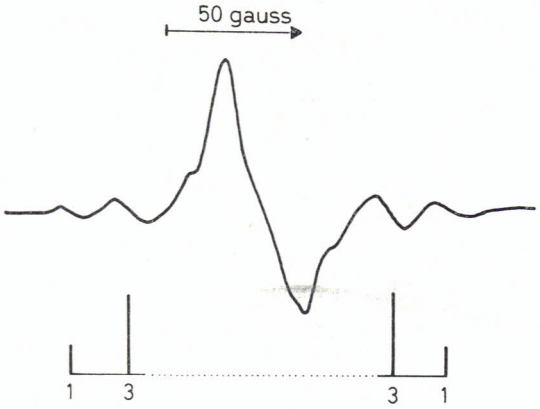


Fig. 6. Første-derivert ESR-spektrum av polykrystallinsk DNA bestrålt under en N_2-atmosfære ved værelsestemperatur (etter: A. Ehrenberg et al., 1963).

resonanser fra forskjellige radikaler. I tiden like etter at dette spektrum ble observert forsøkte man ved forskjellige eksperimentelle metoder å få fram en tydeligere hyperfinoppsplitting slik at en kunne trekke strukturell informasjon om de forskjellige radikaler ut av spekteret. I 1963 lyktes det to grupper (A. Ehrenberg og hans medarbeidere i Sverige samt en gruppe ved Bell Telephone Labs i USA) uavhengig av hverandre å få fram et mere detaljert spektrum, vist i Fig. 6. Den sentrale delen av dette spekteret er fremdeles dominert av en bred, stor linje, men på kanten kan en tydelig se noen «nye» linjer, hvorav de to ytterste på hver side syntes å ha en innbyrdes intensitetsfordeling på 1:3: . . . . :3:1. En nærmere analyse av dette spektret avslørte at fire linjer til, med større intensitet enn de fire ytterste var tilstede i den sentrale delen, men altså delvis maskert av andre resonanser. Den totale bredden til dette spekteret var ca. 140 gauss.

Når en tar i betraktning DNA molekylets enorme kompleksitet er ikke et slikt spektrum uten videre lett interpreterbart. Imidlertid, ved å sammelikne med spektra fra nukleosiden tymidin (som er tymin-basen + sukker, se Fig. 2) i polykrystallinsk form fant man en viss likhet. Tymidin-spekteret består av i alt 8 linjer med en intensitetsfordeling på 1:3:5:7:7:5:3:1, spredd utover et område på ca. 136 gauss. Senere eksperimenter på spesielt prepararte prøver av DNA viste at disse to spektrene var identiske. Det radikalet som gir opphav til denne resonansen, det såkalte 5-tymyl radikalet (struktur **1** nedenfor) er dannet i pyrimidinbasen tymin ved at et hydrogenatom (innsirklet på strukturformelen nedenfor) er tilleiret den umettede $C_5 - C_6$ bindingen. Strukturen av dette radikalet ble senere verifisert ved et énkrystallstudium av tymidin.

Årsaken til at dette radikalet relativt lett lar seg identifisere i polykrystallinsk fase er at det uparede elektron her kun vekselvirker med kjerner fjernt fra elektronet (såkalte β-protoner). Dette medfører at det anisotrope bidrag i koplingstensorene (som er proporsjonalt med r^{-3}) blir lite sammenliknet med størrelsen av den isotrope vekselvirkningen. I Fig. 7 er vist et spektrum av dette radikalet i énkrystaller av tymidin, og under er det ved et strekspektrum forsøkt å antyde hvorledes den observerte intensitetsfordeling framkommer. Resonanslinjen tenkes først splittet opp i tre linjer med relativ intensitetsfordeling 1:2:1 av de to betaprotonene som er bundet til C_6. To protoner skulle gi fire linjer som er like intense, men når protonene vekselvirker like sterkt med det uparede elektronet (de er «ekvivalente») «flyter» to av linjene sammen til én med dobbelt så stor intensitet. Tilsvarende gir de tre ekvivalente protonene i methylgruppen fire linjer med fordelingen 1:3:3:1. Methylkoplingen er imidlertid bare halvt så sterk som C_6-protonkoplingene

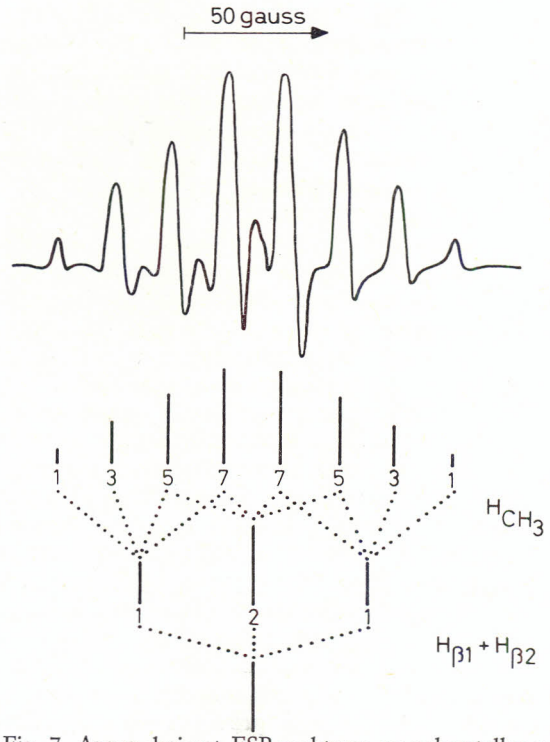


Fig. 7. Annen-derivert ESR-spektrum av enkrystaller av tymidin bestrålt ved værelsestemperatur (etter: B. Pruden et. al., 1965). Strekspektret under antyder hvorledes den observerte intensitetsfordelingen fremkommer (jfr. teksten).

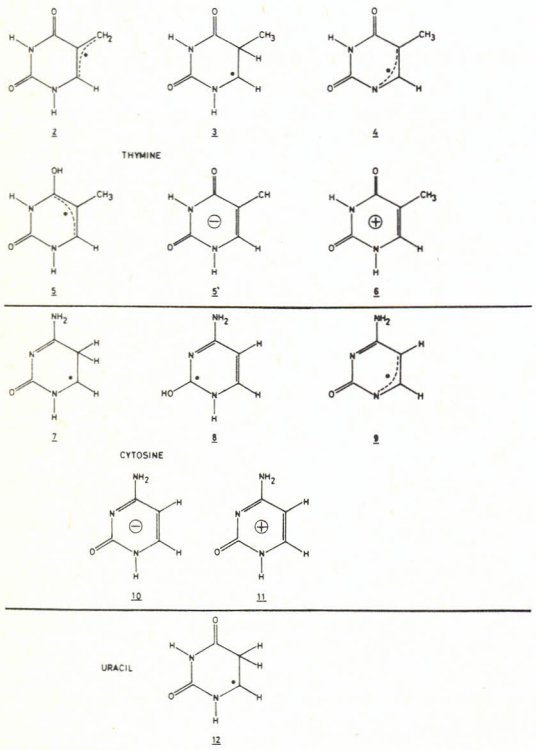


Fig. 8. Foreslåtte radikalstrukturer i pyrimidinbasene tymin, uracil og cytosin. Prikken angir den kjerne hvor hoveddelen av den uparede spinntettheten er lokalisert. En stiplet linje angir en delokalisering av spinntettheten over flere kjerner.

hvilket leder til den observerte intensitetsfordeling.

For at en så effektivt som mulig skal kunne dra nytte av all tilgjengelig informasjon fra ESR spektroskopi må en også bruke eventuell anisotropi i koplingskonstantene. Dette krever imidlertid at en opererer med et system av orienterte radikaler. Siden det som nevnt synes umulig å preparere énkrystaller av DNA kan det virke umulig å oppnå ytterligere kjennskap om de radikaler som dannes i DNA ved bestråling. Det har imidlertid utpekt seg to måter en delvis kan omgå dette problemet på. Den ene, som går ut på å bruke orienterte fibre av nukleinsyrene skal diskuteres senere. Først skal vi se på den andre metoden, som til nå langt har vært den vanligste. Den går ut på å studere énkrystaller av DNA-molekylets byggestener, h.h.v. baser, nukleosider og nukleotider (som er base + sukker + fosfat, se Fig. 2). Dette er relativt enkle systemer som man vanligvis kan gro tilstrekkelig store krystaller av.

En annen fordel ved denne metoden er at man i en rekke tilfelle kjenner den detaljerte krystall- og molekylstruktur av disse forbindelsene, bestemt ved røntgen- eller neutrondiffraksjon (Odgaard, 1974). Med denne kunnskap i bakhånd kan man sammenlikne hyperfintensorenes prinsipalretninger med kjente retninger i krystallen. Dette vil i svært mange tilfelle kunne gi en bestemt avgjørelse mellom to eller flere radikalkandidater som ellers ville være like sannsynlige. En slik framgangsmåte krever imidlertid at en antar at molekylets geometriske struktur ikke endrer seg i betydelig grad ved radikaldannelse. Denne forutsetningen er vanligvis oppfylt når en har med store, aromatiske radikalfragmenter å gjøre, f. eks. som radikal **1** eller de fleste andre i Fig. 8 og 9.

Et spørsmål som reiser seg i forbindelse med bruk av énkrystaller av DNA komponenter er hvorvidt resultater fra slike studier kan overføres til makromolekylene selv. Foruten at komponentene befinner seg i et langt fra biologisk miljø kan en heller ikke vente at et så kompli-sert system som nukleinsyrene viser additive egenskaper (således at dersom molekylet A ved bestråling gir radikalet A· og tilsvarende molekylet B gir B· så er det ikke gitt at (A + B) ved bestråling gir (A· + B·).

En ytterligere komplikasjon ved alle slike studier er at de radikaler som stabiliseres etter

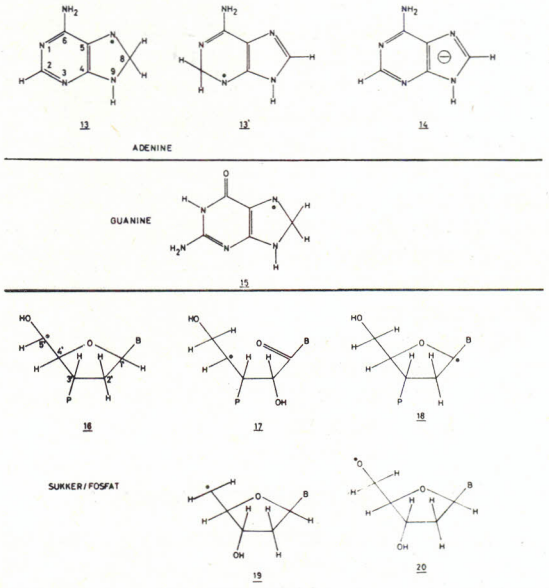


Fig. 9. Foreslåtte radikalstrukturer i purinbasene adenin og guanin, samt i sukkermolekylene. I de siste strukturformlene angir B hvor basene er bundet til sukkeret, og P angir fosforets tilknytningsposisjon. Hvor P ikke er angitt, er det kun nukleosiden (base + sukker) som er studert. Forekomst av H eller OH ved C'$_2$ er avhengig av om det er ribose eller deoxyribose-sukkere som er studert (dvs. RNA eller DNA komponenten, hhv.).

Tabell 1

Strålingsiduserte radikaler identifisert i nukleinsyrenes byggestener ved 77 og 300 K (j.f.r. Figurene 8 og 9).

Forbindelser	77 K[a])	300 K[a])
Tymin, dihydrotymin, tymidin	**1**, **3**, **4**, **6**, **20** **2** eller **5/5'** + **3**	**1**, **2**, **3** **2** eller **5/5'** + **3**
Dihydrouracil, uridin		**12**, **16**
Cytosin, cytidin, cytidin monofosfat	**7**, **10**, **11**, **19**	**7**, **8**, **9**, (**11**) **17**, **18**
Adenin, adenosin, adenosin monofosfat	**14**	**13** og/eller **13'** **16**
Guanin, guanosin, guanosin monofosfat		**15**

[a]) Strukturene **5'** og **20** er også indentifisert i tymidin bestrålt og observert ved 4,2 K.

bestrålning ved romstemperatur generelt ikke er de primære strålingsprodukter, men sluttradikaler (sekundær-radikaler) i en sekvens radikalreaksjoner. Ved å bestråle ved lave temperaturer (f. eks. kokende nitrogens temperatur, 77 K) og deretter varme opp kontrollert vil en kunne studere hvorledes noen radikaler forsvinner ved rekombinering mens andre transformeres til mere stabile forbindelser. Dette betyr altså at en må operere med både «primære» og «sekundære» radikaler samt et antall intermediære radikalreaksjoner.

I det følgende skal vi kort skissere de eksperimentelle resultater som er oppnådd i løpet av de 9–10 år som er gått siden det første énkrystallarbeide på tymidin.

B. Énkrystaller av nukleinsyrekomponenter

Naturlig nok er det i første rekke tymin og de nære derivater av denne pyrimidinbasen som har stått i sentrum for oppmerksomheten. I alle disse forbindelsene stabiliseres 5 tymylradikalet (struktur **1**) både ved 77 og ved 295 K, som angitt i Tabell I. Det er imidlertid rimelig grunn til å tro at dette radikalet er et sekundærprodukt selv om en ennå ikke har greid å stabilisere noen forløpere til dette radikalet i enkrystaller av tymin (se avsnitt C). Flere andre radikaler (struktur **2** – **8**) dannes i énkrystaller av tyminderivater ved forskjellige temperaturer, men som antydet i Tabell I er ikke alle identifikasjoner like sikre på det nåværende tidspunkt.

Uracil har det foreløpig ikke lykkes å gro brukbare krystaller av og denne forbindelse er således bare studert i pulver- eller væskefase. Alt tyder på at radikal **12** stabiliseres i uracil, og også i énkrystaller av derivatene dihydrouracil og dihydro-6-methyluracil (isodihydrotymin). Dette er i samsvar med studier av en lang rekke uracil- og tyminderivater, at 5,6-bindingen er spesielt preferert når det gjelder radikaldannelse. Fortrinnsvis dannes det radikaler ved enten addisjon eller abstraksjon av et hydrogenatom fra denne bindingen. Det har videre vist seg at når 5,6-bindingen inneholder grupper med elektroniske egenskaper forskjellige fra hydrogen (som f. eks. et halogenatom, en nitrogruppe eller en karboxylgruppe) så er det gjerne andre deler av molekylet som angripes.

Cytosin ser ut til å danne en mellomgruppe mellom de substituerte og usubstituerte pyrimidinderivatene som er nevnt ovenfor. Her stabiliseres radikaler dannet både ved hydrogen addisjon til 5,6-bindingen (struktur **7**) og på andre måter (**8**, **9**). Som den eneste DNA kom-

ponent mener man her å ha påvist dannelsen av ionradikalene ved 77 K (strukturene **10** og **11**) i énkrystaller. Disse ansees for å være primærprodukter dannet ved bestrålning. Grunnen til at cytosin oppfører seg annerledes enn tymin/uracilderivater kan være at NH_2 gruppen i 4-posisjon perturberer ringens elektronstruktur.

En del guanin- og adeninforbindelser er også blitt studert i énkrystallform. Ved romstemperatur dannes radikaler hovedsakelig ved hydrogen addisjon til en umettet – N = C – dobbeltbinding (strukturene **13**, **13'** og **15**). Ved lave temperaturer mener man i adenin å ha påvist anioner (**14**) som forløpere til addisjonsradikalet. Når de bestrålte komponenter har vært nukleosider eller nukleotider er det også blitt observert radikaldannelse i sukkermolekylene (**16**–**20**). I de fleste tilfelle dannes disse radikalene ved hydrogen abstraksjon fra C'_1 eller C'_5.

(forts. neste hefte)

Bøker

Alister Vallance Jones: «Aurora» Serien Geophysics and Astrophysics Monographs. D. Reidel Publishing Company 1974, 300 sider, pris innbundet 200 N. kr.

Det er etter hvert skrevet en god del bøker om det fascinerende naturfenomenet nordlys, og ikke minst har vel denne litteraturen fått bidrag fra norske penner. Den viktigste boka i dette området de siste 15 år har likevel vært Chamberlain's: «The Physics of Aurora and Airglow». Denne boka blei skrevet i slutten av 50-årene og kunne derfor ikke dra vesentlig nytte av den enorme datamengde som nå er tilgjengelig i og med satelittene. Chamberlain's bok er etter hvert blitt foreldet på mange punkt, og det har derfor vært ønske om at noen med tilstrekkelig innsikt i den moderne nordlysfysikken kunne bidra med et resymé av dagens kunnskap på dette området. Vallance Jones har valgt å se de moderne bakkeobservasjoner av nordlys mot en bakgrunn av de nye satelittdata, og han har maktet sin oppgave på en utmerket måte. Hans bok er noe av det mest gjennomførte på dette området, Chamberlain's bok til tross.

Han starter ut med en kort oversikt over dagens situasjon på bakgrunn av den historiske utvikling, og gir oss en utmerket introduksjon til de mest fundamentale observasjonsmetoder og teknikker innen nordlys fysikk, det være seg optikk, rakett og satelittobservasjoner eller radiomålinger.

I kapittel 3 presenteres nordlysfenomenet på bakgrunn av dagens observasjoner som et meget sammensatt og komplisert naturfenomen. På en besnærende måte har Vallance Jones maktet å dra ut kvintessensen av det mylder av observasjoner som foreligger av dette, og skapt et helhetsbilde som nok kan være en rettesnor for mang en student som ønsker å fordype seg i fenomenet. Ja, for fysikere som har arbeidet i feltet i noen år, er det vel verdt å lese dette kapitlet for å få en grei oversikt av dagens datamylder.

Det fjerde kapitlet er bokens hoveddel. Her bygger forfatteren sin egen meget gjennomførte modell og beregner de viktigste kjente emisjoner i nordlys. Modellberegningene sammenlignes dels med forfatterens egne observasjoner, dels med andres. En får inntrykk av at de grove trekkene er vel forstått, men detaljene i nordlysemisjonene er av og til kontroversielle. I det store og hele må likevel dette sies å være en av de mest gjennomførte modellberegninger av nordlysemisjoner og en enestående konsistent sammenligning av modell og observasjoner på dette området. Forfatterens hovedavsnitt er vel gjennomført.

Om kapitel 4 er vel forseggjort, kan en vel ikke si det om det neste avsnitt av boka. I kapittel 5 berører forfatteren såpass mange helt vidt forskjellige problem over snaut 60 sider at det kan ikke bli annet en overfladisk. Likevel er den delen som berører ionosfæriske strømmer, elektriske felter, ledningsevne og oppvarming vel gjennomført arbeide, mens behandlingen av radiobølgerefleksjoner og absorpsjon, røntgenstråler, radio emisjoner fra nordlys og infralyd fra nordlys, forlater leser med det inntrykk at mye ligger ubesvart. For studenter vil avsnitt 5 allikevel være en fin innføring i disse problemene, og referanse-listen er fyldig nok til at interesserte har anledning til å fordype seg videre.

Kapittel 6 gir en status av dagens teorier om nordlys og akselerasjonsmekanismen for nordlyspartikler. Kapitlet bærer sterkt preg av hvilke skole forfatteren sogner til i substorm problematikken, og siden dette ikke er hans spesialfelt kan det være lett å kritisere. Alt i alt er boka et meget kjærkomment bidrag til nordlyslitteraturen. Boka kan absolutt anbefales for viderekomne studenter i faget kosmisk geofysikk. En del trykkfeil foreligger selvsagt, men anmelderen har ikke funnet noen av så stor betydning at de er verdt å omtale. Prisen er kanskje noe i stiveste laget, men det er en jo etter hvert blitt vant til innen denne type faglitteratur.

Asgeir Brekke

Tormod Førland og Thorbjørn Urdahl: Fysikk/kjemi for ungdomsskole. 7. skoleår. Fabritius forlag 1974.

Etter opplysninger gitt av forlaget, består det nye læreverket av tre komponenter: Grunnbok, Lab-hefte og Lærerveiledning. Anmeldelsen har imidlertid bare fått tilsendt Grunnbok og Lab-hefte, anmeldelsen kan derfor muligens bli preget av mangel på totalinformasjon om læreverket. Anmelderen vil i det følgende legge hovedvekten på de prinsippielle linjer i det nye læreverket.

Innledningsvis henvender grunnboken seg spesielt til eleven. Blant annet vises et bilde av forskere i arbeid i et laboratorium, og under bildet står følgende:

> «Forskere observerer, måler og noterer. Siden studerer de resultatene og trekker slutninger av dem. Slik skal også du arbeide under elevforsøkene.»

Denne intensjonen ser jo bra ut, og anmelderen leser raskt videre for å se hvordan forfatterne har lagt fagstoffet til rette slik at eleven kan nå denne målsettingen.

Fagstoffet er inndelt i tre hovedavsnitt: Stoffets partikkelnatur. Grunnleggende begreper og lover i mekanikken og Enkelte lovmessigheter for gasser og væsker.

Jeg går så videre ned i enkeltdelene av fagstoffet og registrerer følgende hovedlinjer:

A. Allerede på de første sidene oppdager en at lærebokforfatterne tilsynelatende har glemt sin målsetting, i det grunnboken forteller om alt som elevene skal lære av forsøkene. Et naturlig spørsmål fra elevene vil ,etter min vurdering, være følgende: Hva er hensikten med disse forsøkene, skal forsøkene være en form for kontroll av enkelte deler av Grunnboken?

B. Når forfatterne kommer i vanskeligheter med å sannsynliggjøre det lærestoffet som de ønsker å presentere, griper de til god gammel autoritetstaktikk, f. eks. uttrykt ved: «La oss godta at stoffene har en partikkelstruktur, slik forskerne påstår.» Er denne form for undervisning i samsvar med læringsprinsipper anno 1975? Etter anmelderens vurdering må svaret bli nei.

C. I følge oversendelsesbrevet fra forlaget har lærebokforfatterne lagt vekt på at elevene skal få et konkret utgangspunkt for sin lesing, og derfor begynner hvert tekststykke med noen spørsmål. Som eksempel nevnes følgende oppsett:

FYSISKE EGENSKAPER HOS FASTE, FLYTENDE OG GASSFORMIGE STOFFER.
Hvilke tilstander kan stoffene være i?
Hva er felles for stofftilstandene, og hva er det som skiller dem?
Hva kan du bruke hvis du skal bestemme et stoff?
Vet du om noen stoffer du kan bestemme på grunnlag av det som er nevnt nedenfor?

Anmelderen gjør oppmerksom på at begrepene tilstand og stofftilstand, samt mulige kjennetegn for stoffene, er beskrevet i det etterfølgende lærestoffet. Hvilken konkretiseringseffekt ligger det i å stille spørsmål om begreper som elevene overhode ikke legger noen mening i? Etter anmelderens vurdering tjener denne presentasjonsformen til å snu læringsprosessen på hode med forvirring som resultat.

Det kunne være grunn til å ta opp flere sider ved læreverket enn det som allerede er nevnt. Etter anmelderens vurdering, gir imidlertid det som er berørt grunnlag for å uttale at læreverket er i utakt med moderne læringsprinsipper.

Asbjørn Solheim

Kl. Schäfer (ed.): Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen aus Naturwissenchaften und Technik, Neue Serie.
Gruppe IV: Makroskopische und technische Eigenchaften der Materie. Vol 1 Dichten flüssiger Systeme, Teil a Nicht wässerige Systeme. und ternäre wässerige Systeme. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg New York 1974, 716, pris innbundet DM 490,–.

Dette er et tabellverk i serien Landolt-Börnstein som angir tetthet for væskesystemer. Det er en utvidelse av tidligere tabellverk i serien der det hittil kun har vært få data om ikke-vandige systemer, mens en her får en relativt fullstendig dekning av tilgjengelig data fra litteraturen opp til 1970/1971. Data om tetthet er delt i to bind, dette bindet (del a) dekker ikke-vandige og ternære vandige systemer, mens det bind som skal dekke binære vandige systemer (del b) er under trykning. Denne delen skal ifølge utgiveren også inneholde et supplement til del a. Del a gir en god oversikt over de forskjellige systemer, og er systematisk bygget opp etter kjemiske symboler. I de fleste tilfeller foreligger data for et større konsentrasjonsområde og ofte ved flere temperaturer. I en del tilfeller er det av plasshensyn ikke oppgitt data for systemene, men kun henvist til originalarbeidene.

Boka er inndelt i uorganiske og organiske stoffer, noe som synes praktisk til sitt formål. Jeg synes det ville være mer naturlig om del b hadde inneholdt avsnittet i del a om ternære vandige systemer sammen med de øvrige vandige systemer.

Den foreliggende del av dette verket gir god oversikt over emnet og kan anbefales anskaffet ved større fagbiblioteker.

Knut Schrøder

L. D. Berkovitz: Optimal control theory, Applied mathematical sciences vol. 12, Springer Verlag, New York, Heidelberg, Berlin 1974, 304 sider, 10 figurer. Pris heftet DM 23.30.

Boken er en innføring i den matematiske teori for optimal kontroll av prosesser som kan beskrives ved hjelp av vanlige differensialligninger. For å få fullt utbytte av hele boken kreves gode kunnskaper i matematisk analyse og dessuten noe kjennskap til de grunnleggende aspekter ved Lebesque integrasjon og funksjonsanalyse. Lesere med svakere kunnskaper i matematikk kan lese et utdrag av boken basert på retningslinjer angitt i forordet.

Selve boken er inndelt i 6 kapitler. Kapitel 1 presenterer 5 eksempler på kontrollproblemer hentet fra så forskjellige områder som produksjonsplanlegging og kontroll av raketter. Alle eksemplene har imidlertid en felles matematisk struktur som formuleres i kapittel 2. Kapitlet ender med en diskusjon om sammenhengen mellom optimal kontrollteori og variasjonsregning. I de 4 følgende kapitler utvikles så den matematiske teori. Kapiteloverskriftene, eksistensteoremer med antagelse om konveksitet, eksistens uten konveksitet, maksimumsprinsippet og noen av dets anvendelser, bevis for maksimumsprinsippet, gir en ide om innholdet.

Boken stiller store krav til leserens matematiske kunnskaper og synes derfor best egnet for matematisk skolerte lesere. Men er forutsetningene i orden gir den en interessant innføring i et fagområde av stadig økende betydning.

Tore Håvie

HUSK

Fysikermøtet

i Trondheim

21.–23. juni 1977

DEN NEDERLANDSK-NORSKE REAKTORSKOLEN

Institutt for Atomenergi, Kjeller

KURS I DATABEHANDLING VÅREN 1977

17/1—21/1 Grunnkurs

24/1—11/2 FORTRAN

28/3— 1/4 Videregående programmeringsmetodikk i FORTRAN

Disse kursene er gratis for personell i offentlige institusjoner.

KURS I ISOTOPANVENDELSER

21/2—25/2 Kurs i målemetoder for radioaktivitet

ANDRE KURS

13/4—24/4 NATO Advanced Study Institute on «ELECTRON-PHONON INTERACTIONS AND PHASE TRANSITIONS». (Bardøla Høyfjellshotell, Geilo).
Kurset vil bli holdt under forutsetning av at det blir gitt økonomisk støtte fra Scientific Affairs Division, NATO.

Nærmere opplysninger og søknadsskjemaer fås ved henvendelse til
Kurssekretær Gerd Jarrett
Den nederlansk-norske reaktorskolen
Institutt for Atomenergi
Boks 40, 2007 Kjeller **Telefon (02) 71 25 60**

Utgiverpoststed: 7034 Trondheim — NTH

Norsk Fysisk Selskap

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

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

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

Postgirokonto: 5883889 Bankgirokonto: 5102.20.16001

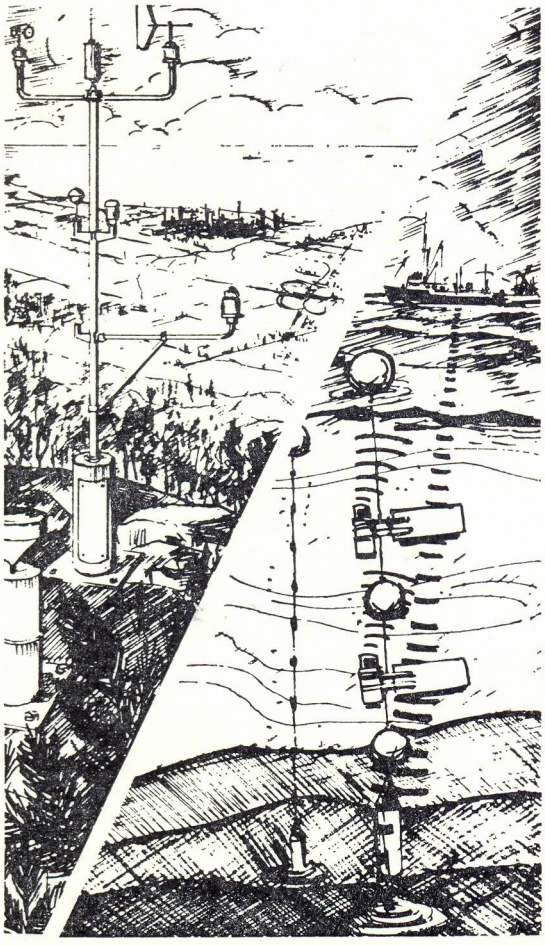
Fra Fysikkens Verden

Redaktør:
Professor dr. techn. Haakon Olsen, Universitetet i Trondheim, Norges Lærerhøgskole.
Redaksjonssekretær:
Lab.ing. Halvard Torgersen, Universitetet i Trondheim, Norges tekniske høgskole.
Redaksjonskomité:
Lektor K. Jostein Knutsen
Luftkrigsskolen, Trondheim.
Universitetslektor Wilhelm Løchstøer,
Universitetet i Oslo, Blindern.
Forsker, cand. real. Olav Steinsvoll,
Institutt for Atomenergi, Kjeller.
Dosent Leif Owren, Ph.D., Univ. i Bergen.
Fagsekretær Helge Klemsdal, Nordlysobservatoriet, 9000 Tromsø.
Dr. techn. Helge Øverås, CERN Genéve.

Fra Fysikkens Verden utkommer kvartalsvis. Abonnement kan tegnes gjennom postverket eller direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 20,00. Årsabonnement for studenter og skoleelever kr. 15,00.

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

Postgirokonto: 10472 Bankgirokonto: 8601 3612279



STRØMMÅLERE

For registrering av styrke, retning og temperature av havstrømmer. Instrumentene kan også utstyres med følere for registrering av dybde og ledningsevne.

TEMPERATUR MÅLERE

For registrering av temperatur profiler i sjø og vann.

VANNSTANDSMÅLERE

For nøyaktig registrering av vann-niva.

KLIMASTASJONER

For montasje på land eller bøye.

DATALESINGSUTSTYR

For oversetting av registrerte data til EDB media.

AANDERAA INSTRUMENTS
DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND, SEA AND AIR
Fanaveien 13, 5050 Nesttun, Tel. (05) 27 40 30, Telex 40049aan

Aktietrykkeriet Trondhjem