

Fra

Fysikkens

Verden

Nr. 2 – 1997
59. årgang

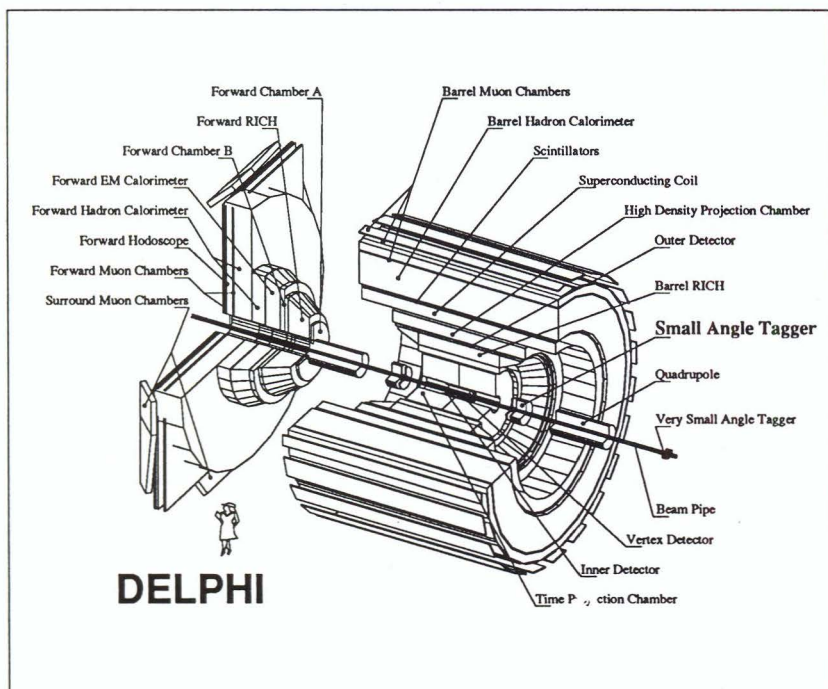
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

L. Bugge og A. L. Read:	
Norsk innsats i LEP/DELPHI..	31
Per Chr. Hemmer:	
Moderne fysikk 100 år	37
Thor Myklebust:	
Masseskalaen 0,1mg-500kg	41
Fra Redaktørene	30
Konferanse	43
Bokomtale	46
Trim i FFV	48
Trim i FFV – 3/89	48
Nye doktorer	49
Dr.ing. Astrid Aksnes Dyrseth	
Dr.scient. Kjell Folgerø	
Dr.scient. Ola Engelsen	
Dr.ing. Einar Halvorsen	
Dr.scient. Hans Martin Helset	
Dr.scient. Børge Holme	
Dr.ing. Ulf E. Hvam Laheld	
Dr.scient. Knut Brede Liland	
Dr.ing. Jan Erik Øvreby Olsen	
Hva skjer	54
Seminar i petroleumsfysikk	
Nytt fra NFS	55
Årsmeldingen	
Nye medlemmer	



DELPHI-detektoren ved CERN

(Se artikkel)

Fra Redaktørene

En av landets fremste vitenskapsmenn i dette århundre, professor i teoretisk fysikk Egil Hylleraas, fortalte oss studenter en gang rundt kaffebordet i Blindernkjelleren at han av og til ble kontaktet av oppfinnere av perpetuum mobile. En gang hadde han imidlertid begått en stor tabbe; han hadde straks satt seg ned og skrevet til oppfinneren og inngående forklart hva som var feil med oppfinnelsen. Stakkaren fikk nærmest sammenbrudd; hele hans livsverk var torpedert i løpet av et par dager. Etter dette, fortalte Hylleraas, lot han alltid slike forslag ligge i skuffen et par måneder før han svarte.

Av en eller annen grunn fikk vi denne assosiasjonen da "Råd om langsiktig plan for Norges forskningsråds støtte til basisforskning i fagene fysikk, elektrofag og materialteknologi" nylig dukket opp i vår posthylle. Rådet er avgitt av en komité nedsatt i 1994, og en kan undre seg over hvordan komitéen har klart å bruke hele tre år på denne innstillingen. Den er overdøvende enstemmig, men for leseren melder en lett omskrevet X-file assosiasjon seg: "Du tror det ikke før du har lest det!"

Vi som har arbeidet innen grunnforskning fordi vi tror på dens egenverdi og dens langsiktige, men uforutsigbare samfunnsmessige relevans, vil få problemer med den mentale omstilling til den "planøkonomiske" styring av grunnforskningen som komitéen – og NFR – her legger opp til. For de som tror at grunnforskning skal fortsette som før, gjen- gir vi et lite knippe løsrevne sitater som illustrerer hvordan komitéen nå tenker seg at grunnforskningen i fysikk her etter skal rettferdiggjøre sin eksistens og høye kvalitet:

s. 3: "...samfunnets behov..."; "...relevans for norsk samfunns- og næringsliv."

s. 5: "...nytteeffekten av forskningen i fysikk..."; "...uten norske særinteresser..."; "...samfunnsmessige behov ...må legges til grunn."; "...angivelse av de samfunnsbehov..."

s. 16: "...relevansen... norsk nærings- og samfunns-"; "...samfunnets fremtidige forsknings- og utdanningsbehov."; "...hva "brukerne" etterspør."

s. 19: "...økt vekt på samarbeid med næringsliv."

For ordens skyld, vi har ingen problemer med grunnforskning som er både industri- og samfunnsrelevant; i ettertids har det vist seg at en stor del

av grunnforskningen faktisk er av en slik karakter. Det vi ikke kan akseptere er at for å tilfredsstille et krav om kortsiktig nærings- og samfunnsmessig relevans, vil "noen" gjerne instruere oss i hva som er relevant fysikk med en høy forventet aktivitet og innovasjonsgrad.

Vi gir vår fulle tilslutning til komitéens målsetting om å bidra til å høyne kvaliteten og fornyelse av norsk fysikk; men når dette formuleres mer eksplisitt, bl.a. i form av nye prioritetskriterier, blir vi mer betenkte. Har komitéen virkelig vurdert hvilken innvirkning et tiltak som: "Ved tildeling av doktorstipend anbefales det å prioritere studenter som vil arbeide hos yngre, lovende forskere", vil ha på et fagmiljø? Vi går ut ifra at komitéens "aldersbestemte veiledning" refererer til den fysiske og ikke den "åndelige" alder – selv om det siste hadde vært mer logisk. Aldersgrensen bør snarest presiseres nærmere, slik at lovende og ambisiøse studenter kan planlegge sine studier med optimale muligheter for uttelling når knappe stipendiatmidler skal fordeles.

Komitéen stiller spørsmålet: "Hvorfor er CERN-forskning prioritert når kjerne- og partikkelfysikk er blant de områder som har minst relevans for norsk samfunns- og næringsliv?" Vårt naive motspørsmål er: Hvilke land overhodet deltar i CERN pga. partikkelfysikkens samfunns- og næringsmessige relevans? Støtten har neppe vært gitt for kvarkenens industrielle nytteverdi, ei heller for å utvikle det elektroniske "verdensomspennende spindellev" som nå senker seg over oss med sine hjemmesider.

Vi er like naivt undrende når komitéen pretenderer å kjenne kjernekraftens framtid i Norge. Politiske prioriteringer kan skifte på noen timer, og hva som vil bli prioritert når – i en ikke for fjern framtid – vi alle sitter i exergiens "skruestikke", vil i hvert fall ikke vi driste oss til å forutsi – på tross av de mer enn 25 år vi forsknings- og undervisningsmessig har vært engasjert i energiproblematikken.

Vi er stadig like naive og regner heller ikke med å kunne konkurrere med komitéens "sporhunder" når det gjelder å forutsi innen hvilke områder norsk fysikk vil sette sine framtidige spor. Når spørsmålet stilles ved romforskningen, så er det i hvert fall interessant at dette er et område av fysikken hvor Norge virkelig har markert seg i dette århundre.

Vi sitter igjen med en ubehagelig følelse: Hvis komitéens grunnsyn vinner fram, vil selv den beste "sporhund" neppe kunne finne ut hvor det ble av norsk fysikk.

Luminositetsbestemmelse i DELPHI-eksperimentet ved LEP-akseleratoren

L. Bugge og A. L. Read *

I denne artikkelen beskrives det som var hovedaktiviteten til de norske partikkelfysikerne ved CERN de fem første årene den store elektron-positron kollisjonsmaskinen LEP var i drift, nemlig luminositetsbestemmelse ved DELPHI-eksperimentet.

Innledning

Forkortelsen CERN stammer fra *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*, den tidligere franske betegnelsen på det europeiske sentret for forskning i partikkelfysikk like utenfor Genève. LEP (Large Electron Positron collider) er en sirkulær akselerator der elektroner og positroner kan tilføres energi og holdes sirkulerende samtidig. Dette gjør det mulig å skape elektron-positron kollisjoner. Videre er det ordnet slik at disse kollisjonene bare finner sted i fire veldefinerte kollisjonspunkter langs LEP-ringen. Denne ringen har en omkrets på ca. 27 km, og er plassert i en tunnel som ligger 100 til 140 meter under bakkenivå.

Elektronene og positronene sirkulerer i et vakuumrør der trykket er omkring en milliarddel av atmosfæretrykket. Dette må til for at kollisjoner mellom elektroner og luftmolekyler ikke skal ødelegge strålene. De viktigste komponentene i tillegg til vakuumrøret, er dipolmagneter for å holde partiklene i banen, kvadropol- og høyere ordens magneter for fokusering av strålene, samt radiofrekvens-akselerasjonshulrom der elektromagnetisk energi overføres til partiklene og derved øker deres energi. Stråleenergien i LEP måles med meget høy presisjon; den relative nøyaktigheten er av størrelsesorden 10^{-5} . Man har målt innvirkning på stråleenergien fra tidevannskrefter, kraftige regnvær, endret vannstand i Genfersjøen – endog avgang av hurtigtoget TGV fra Genève, gir målbare effekter ved LEP!

For alle praktiske formål kan en regne med at elektronene og positronene beveger seg rundt i ringen med lyshastigheten. Dette betyr at de bruker omtrent $90 \mu\text{s}$ per omløp, hvilket vil si at de gjør over 11000 runder i sekundet.

Et hovedanliggende ved LEP er å foreta presise tester av dagens teori for elementærpartiklene og kreftene som virker mellom dem, sammenfattet i den såkalte *Standardmodellen*, samt å søke etter eventuell *ny fysikk* – det vil si fysikk som ikke er inneholdt i Standardmodellen. I tiden fra LEPs oppstart høsten 1989 og frem til 1996, ble dette gjort med stråleenergien like i overkant av 45 GeV. Dette gir en massesenterenergi på litt over 90 GeV, svarende til massen på det såkalte Z^0 -bosonet. I ref. 1 gis det en fremstilling av sentrale deler av Standardmodellen, mens ref. 2 gjennomgår noen av de viktigste testene av Standardmodellen som ble gjort i LEPs fem første år ved studier av produksjon og henfall av Z^0 -bosonet. Der forklares i detalj hvordan studiet av virkningstverrsnittet for Z^0 -produksjon som funksjon av massesenterenergien tester Standardmodellen og hvordan disse måleresultatene under visse forutsetninger forteller hvor mange elementærpartikler det finnes.

Målingen av virkningstverrsnittet for Z^0 består vesentlig av *telling* av antall forekomster av en bestemt slutt-tilstand, og *normalisering* til kollisjonshyppigheten som gis av en størrelse som vi kaller *luminositeten*. Dersom en ved energien E_2 observerte dobbelt så mange hendelser som ved energien E_1 , kunne det være fordi virkningstverrsnittet var dobbelt så stort ved den førstnevnte energien. Men det kunne også hende at virkningstverrsnittet var det samme, mens det ved E_2 var dobbelt så mange elektron-positron kollisjoner som ved E_1 . Ved å normalisere med luminositeten, er man sikret at variasjoner i antall observerte hendelser per tidsenhet skyldes variasjoner i virkningstverrsnittet og ikke trivielle endringer i strålekvaliteten.

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Luminositet

Vi kan grovt sett tenke på virkningstverrsnittet for en prosess som et mål for hvor sannsynlig det er at prosessen skjer. Hvor mange ganger prosessen $e^+e^- \rightarrow X$ foregår per tidsenhet, $\dot{N}$, er proporsjonalt med virkningstverrsnittet, $\sigma(e^+e^- \rightarrow X)$, og elektron-positron kollisjonshyppigheten. Vi skriver

$$\dot{N} = \sigma(e^+e^- \rightarrow X)\mathcal{L} \quad (1)$$

Størrelsen $\mathcal{L}$ kalles (den instantane) *luminositeten*. Den er en tidsavhengig størrelse som er en funksjon av akseleratorens stråleparametre, og har enheten $\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Av likning 1 ser vi da at virkningstverrsnittet ikke er en sannsynlighet i egentlig forstand, men en størrelse med dimensjon areal.

Antall forekomster av den aktuelle prosessen over et tidsrom Δt , N , er da gitt som

$$N = \sigma(e^+e^- \rightarrow X)L \quad (2)$$

hvor $L = \int_{\Delta t} \mathcal{L}(t)dt$. Størrelsen L vil vi kalle den integrerte luminositeten, eller bare luminositeten.

I en elektron-positron maskin som LEP, kan den instantane luminositeten skrives som

$$\mathcal{L} = \frac{k_b f_0 N_b^2}{4\pi\sigma_x\sigma_y} e^{\left(-\frac{x_s^2}{4\sigma_x^2} - \frac{y_s^2}{4\sigma_y^2}\right)} \quad (3)$$

hvor k_b er antall partikkelbunter i hver stråle, f_0 er omløpsfrekvensen, N_b er antall elektroner (positroner) i hver av partikkelbuntene og σ_x (σ_y) betegner strålens horisontale (vertikale) utstrekning (rms-verdien) ved kollisjonspunktet. Eksponensialfunksjonen representerer tapet i luminositet hvis strålene har en horisontal (vertikal) separasjon x_s (y_s) i kollisjonspunktet. En kunne derfor tenke seg at man til enhver tid kunne beregne $\mathcal{L}$ ut fra stråleparametrene, men disse er på langt nær kjent med den presisjon som er nødvendig. Den integrerte luminositeten L må derfor *måles*, og luminositetsmålingene i DELPHI-eksperimentet fra 1989 til 1994, er emnet for resten av artikkelen.

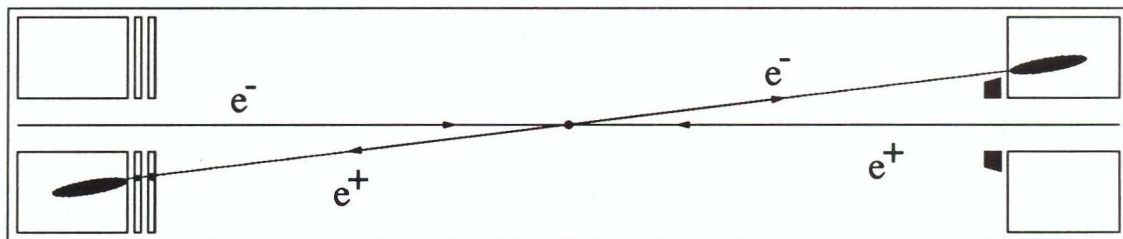
Hvordan måle luminositet?

Fra definisjonslikningen, likning 2, følger at L kan bestemmes ved å telle antall forekomster N av en prosess med et kjent virkningstverrsnitt σ , $L = N/\sigma$. Virkningstverrsnittet for den kjente prosessen bør være så stort at man detekterer minst like mange hendelser av denne som av de prosessene en ønsker å måle virkningstverrsnittene for. Hvis ikke, vil den statistiske usikkerheten i luminositetsmålingen dominere usikkerheten i de målte virkningstverrsnittene. Vi ønsker også at den kjente prosessen skal være slik at den er lett å skille ut fra andre prosesser, med andre ord at bakgrunnen i dataene som skyldes andre prosesser, blir liten. Dermed blir den systematiske usikkerheten i luminositeten fra bakgrunnssubtraksjon også liten.

Prosesen der slutt-tilstanden også inneholder et elektron-positron par (pluss eventuelt ett eller flere fotoner),

$$e^+e^- \rightarrow e^+e^-(\gamma)$$

såkalt *Bhabha-spredning*, viser seg å tilfredsstille disse kravene. Dette gjelder hvis prosessen studeres ved små spredningsvinkler (vinkelen mellom innkommende og utgående elektron), fordi virkningstverrsnittet øker kraftig med avtagende spredningsvinkel, og fordi bidraget fra den godt forståtte elektromagnetiske delen er dominerende i dette vinkelområdet. Siden elektroner (og positroner) med høy energi har distinkte eksperimentelle kjennetegn, er også kravet om lav bakgrunn oppfylt. En Bhabha-hendelse observert av en detektor, er skjematisk illustrert i figur 1. Sannsynligheten for at andre prosesser enn Bhabha-spredning samtidig skal gi noe som er, eller ser ut som, et elektron med energi omtrent lik stråleenergien i de to delene av apparaturen, er forsvinnende liten (men ikke null!). Følgelig valgte en ved DELPHI og de tre andre eksperimentene ved LEP, å bestemme luminositeten ved å telle Bhabha-hendelser.



Figur 1. Skisse av en Bhabha-hendelse.

SAT-detektoren

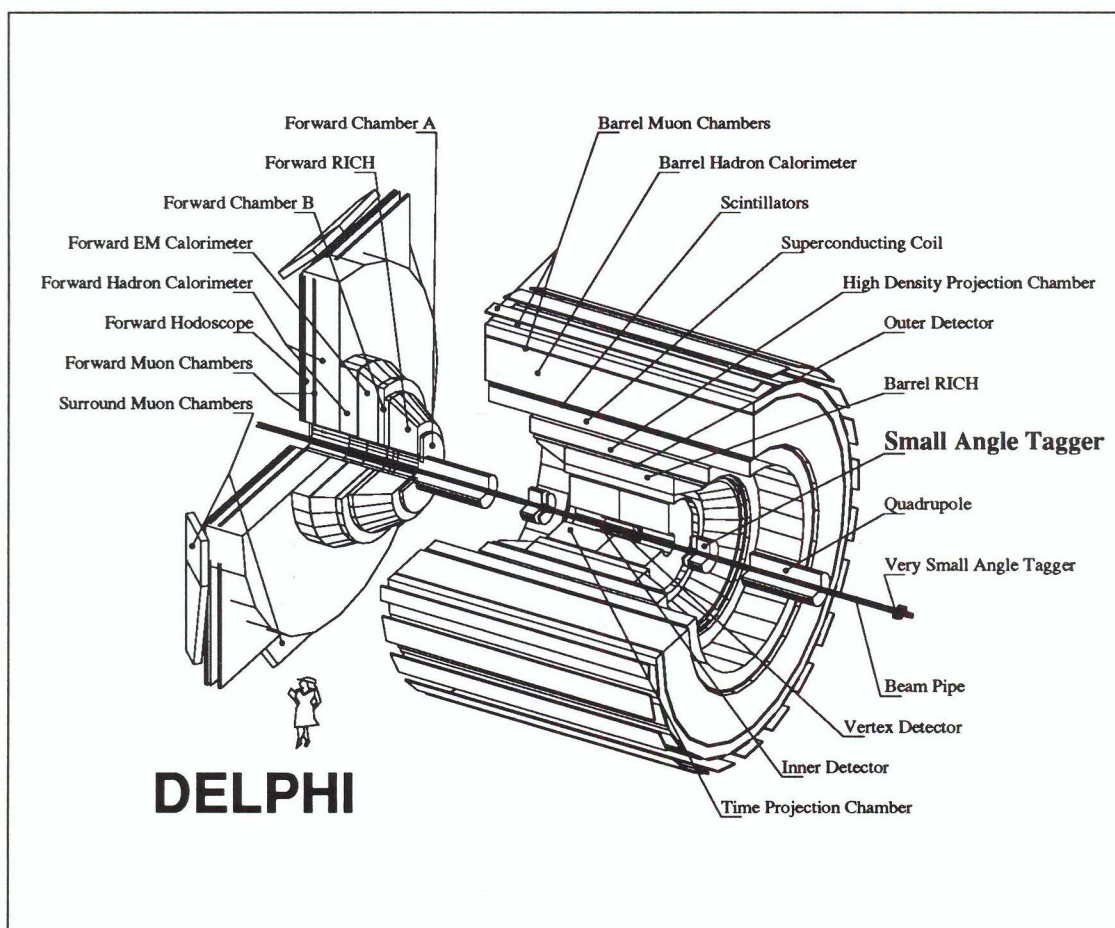
Kalorimetrene

Den detektoren som ble brukt til luminositetsmålinger de fem første årene var *Small Angle Tagger*, forkortet SAT. Denne besto til å begynne med av to kalorimetre (se boks om elektromagnetisk kalorimetri) som var montert rundt strålerøret, ca. $\pm 2,3$ m fra kollisjonspunktet. Figur 2 viser et oversiktsbilde av DELPHI med SAT-kalorimetrene inntegnet. Konverteringsmaterialet i kalorimetrene var bly. Det er her selve utviklingen av de elektromagnetiske skurene foregår. Det aktive materialet var scintillerende optiske fibre, 1 mm i diameter, montert i konsentriske sylinderskall med strålen som akse. Ladde partikler (elektroner og positroner) som passerer gjennom en fiber gir opphav til scintillasjonslys. Mellom hvert fiberlag var det et 1 mm tykt blylag. De optiske fibre ble buntet sammen ved kalorimetrets bakvegg, og lyset fra hver bunt ble ledet til en fotodiode ved hjelp av lysledere. I fotodiodene blir lyset konvertert til elektriske signal, og summen av lyssignalene er proporsjonal med det

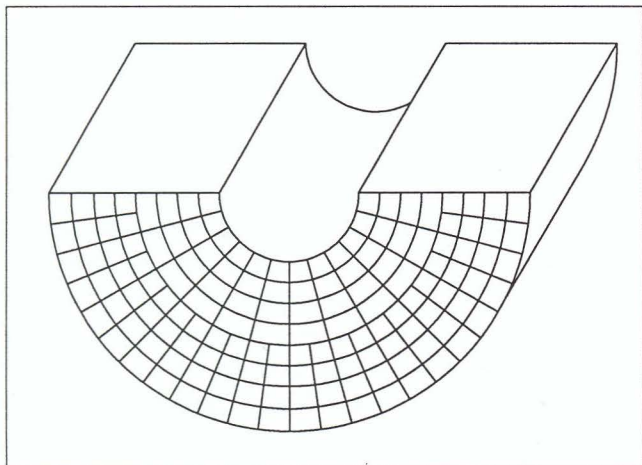
innkomne elektronets (positronets) energi. Fiberbuntingen er foretatt slik at hver bunt tilsvarende et veldefinert område i et plan vinkelrett på strålen, avgrenset av to konsentriske sirkelsegmenter med sentre i nominell stråleposisjon og to linjer med konstant asimutalvinkel. På denne måten ga kalorimeterresponsen ikke bare informasjon om innkommende partikkelenergi, men også om *hvor* partikklelen traff kalorimetret. Hvert kalorimeter var satt sammen av to såkalte halvtønner, hver med 144 utlesningselementer, hvor hvert element svarer til en fiberbunt. Disse forholdene er illustrert i figur 3.

Akseptansedefinisjon/ maskeringsteknikk

Kalorimetrene var konstruert med en presisjon på ca. 2 % med luminositetsmåling for øye. Imidlertid viste det seg tidlig at antall Z^0 -hendelser kunne bestemmes mye mer presist enn dette. Det betydde at en presisjon i målingene på et par prosent ikke var godt nok – da ville luminositetsbestemmelsen være den begrensende faktor i testingen av Standardmodellen!



Figur 2. DELPHI-detektoren

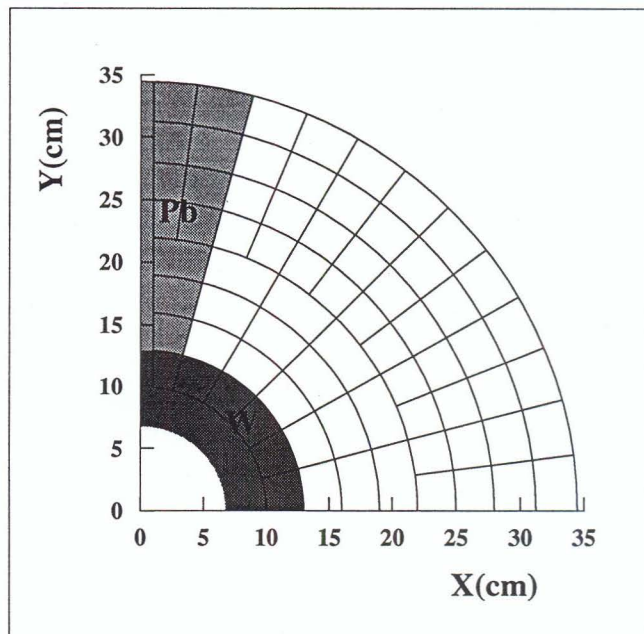


Figur 3. En SAT-kalorimeterhalvtønne.

Det som i første rekke begrenset presisjonen, var nøyaktigheten i den minste radius hvor man kunne detektere Bhabha-elektroner. Teoretiske beregninger viser at hyppigheten av Bhabha-elektroner avtar kubisk med radius, $\sigma_{Bhabha} \sim R^{-3}$. Etter integrasjon over SAT-kalorimetrets radielle utstrekning, fra R_{min} til R_{maks} , sitter vi igjen med et virkningstverrsnitt for Bhabha-spredning som er proporsjonalt med $(\frac{1}{R_{min}^2} - \frac{1}{R_{maks}^2})$. Siden $\frac{1}{R_{min}^2} \gg \frac{1}{R_{maks}^2}$, domineres akseptanse-usikkerheten av usikkerheten i R_{min} .

Det ble derfor besluttet å utstyre et av SAT-kalorimetrene med en blymaske: en ring som dekket de innerste centimetrene av kalorimetret, og som var tykk nok til at partikler som passerte gjennom ringen avsatte svært liten energi i kalorimetret. Dermed var akseptansedefinisjonen redusert til et spørsmål om energimåling: Alle elektroner over en viss energi måtte ha kommet inn ved en radius større enn blyringens ytre radius. Slik ble akseptansespresisjonen bestemt av hvor presist blyringen var maskinert og installert, noe som ikke er så vanskelig å gjøre med tilstrekkelig nøyaktighet. Senere ble blyringen erstattet av en wolframring på grunn av dette materialets større tetthet og bedre mekaniske egenskaper. Ringens overflate tilsvarte strengt tatt ikke en fast radius, men en fast spredningsvinkel θ , under antakelse av at partiklene kom fra det nominelle kollisjonspunktet.

Siden det var vanskelig å beregne SATs effektivitet til å gjenkjenne elektroner i området omkring skjøten mellom de to halvtønnene, ble maskeringen utvidet til også å inneholde en maske avgrenset av en fast asimutalvinkel omkring skjøten. Maskeringsgeometrien er illustrert i figur 4.



Figur 4. En kvadrant av SAT-kalorimeteret, inkludert maskene, sett fra e^+e^- kollisjonspunktet.

Større presisjon: silisium stripedetektor

For å forbedre presisjonen i luminositetsbestemmelsen ytterligere, ble kalorimeteret som ikke hadde det maskeringssystemet som er beskrevet i forrige avsnitt, utstyrt med en presis posisjonsdetektor som ble montert like foran kalorimeteret. Denne detektoren besto av to plan med silisiumstripedetektorer. Stripene dannet sirkler med sentrum i nominell stråleposisjon. Hver stripe hadde en bredde på 1 mm og dekket et asimutalvinkelspenn på 5° . Stripene ble lest ut digitalt, det vil si at man ikke fikk informasjon om signalstørrelsen, men bare om hvorvidt en stripe hadde et signal eller ikke. Med denne detektoren kunne indre og ytre radius av akseptansen bestemmes med en presisjon tilsvarende nøyaktigheten i detektorens konstruksjon og opplinjering. Denne var omtrent $100 \mu\text{m}$.

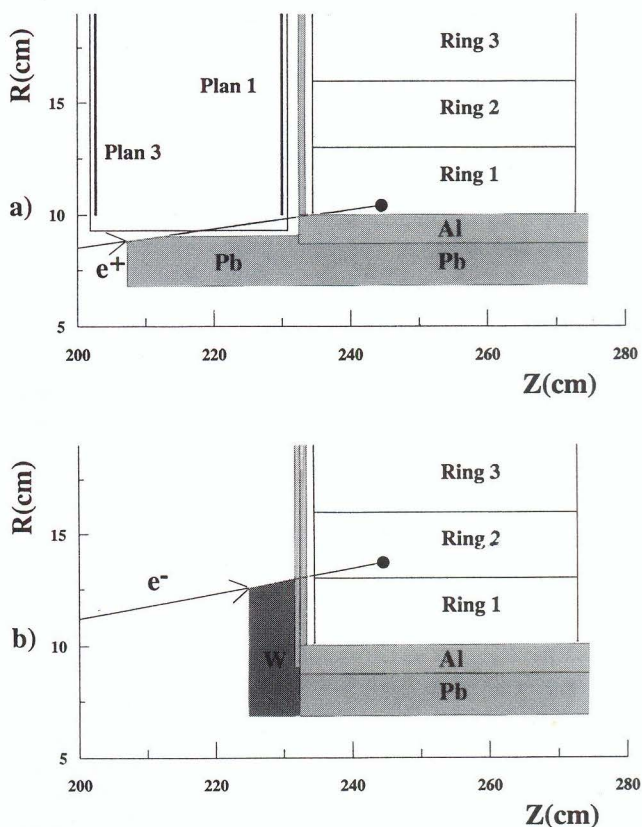
Etter nærmere ti års utvikling av detektorer og utlesningselektronikk, leverte detektoren sine første signifikante data i 1991. Mot slutten av dette året ble den utsatt for alvorlige stråleskader på grunn av en lekkasje i strålerøret inne i detektoren. Etter større reparasjoner ga en forbedret versjon av detektoren data i siste del av 1992 og i hele 1993.

Luminositetsanalyse

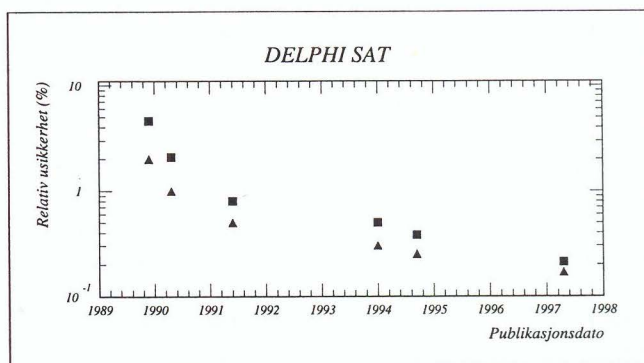
Luminositetsanalysen besto av to hovedkomponenter. Den ene var å identifisere Bhabha-hendelser i dataene og telle disse. Den andre var å bestemme

det integrerte virkningstverrsnittet for Bhabha-hendelser over detektorakseptansen, heri inkludert effektene av seleksjonskravene som ble brukt under identifikasjon av Bhabha-hendelser. I tillegg til disse hovedoppgavene innebar arbeidet oppgaver som *in situ* energikalibrering av kalorimetrene ved hjelp av Bhabha-hendelser og presis kjennskap til LEPs stråle-energi, monitorering av SATs energirespons som funksjon av tiden, korreksjoner til Bhabha virkningstverrsnitt fra svake prosesser som involverer Z^0 -bosonet, nitide sammenlikninger av simulerte og reelle data, og i sammenheng med dette estimering av mulige systematiske feilkilder i forbindelse med hvert av seleksjonskravene, systematiske undersøkelser av alle data for å påvise eventuelle tidsrom der detektoren ikke hadde virket normalt, samt kontinuerlig gjennomføring av alle tenkelige konsistenssjekker. Alt dette var påkrevet for å kunne oppnå, og ikke minst kunne dokumentere, en høy presisjon i den målte integrerte luminositeten. Den eksperimentelle systematiske usikkerheten minsket etter hvert som detektoren og de anvendte prosedyrer ble bedre forstått. Bidrag til den økende presisjonen kom fra justeringer som ga en enhetlig respons fra de 576 utlesningskanalene, en større reorganisering av triggerlogikken som gjorde monitorering av trigger effektivitet og maskinbakgrunn mulig, og et større testprogram hvor hele SAT-detektoren med utlesningssystem ble flyttet til CERNs PS-akselerator (proton-synkrotron) for systematiske studier av anomalier i kalorimeterresponsen. Dessuten ble det i tillegg til akseptansmaskene som er beskrevet tidligere, installert blyskjerming mellom SAT og strålerøret, som vist i figur 5.

I tillegg kommer en teoretisk systematisk usikkerhet som skyldes de tilnærmelser som teoretikerne har måttet foreta under konstruksjon av de generatorprogrammer som brukes ved beregning av det integrerte virkningstverrsnitt. Presisjonen til det teoretiske virkningstverrsnittet ble også gradvis forbedret gjennom hele SATs levetid og senere – fra 2 % i 1989 til 0,17 % i dag. Dette er illustrert i figur 6 som fremstiller den eksperimentelle og den teoretiske systematiske usikkerhet som ble gitt i DELPHI-publikasjoner om tester av elektrosvake vekselvirkninger ved studier av Z^0 s eksitasjonskurve, se ref. 2. Det beste resultatet er altså en eksperimentell systematisk usikkerhet på mindre enn 3 promille. Dette resultatet, som har bestått den beste test et slikt resultat kan gjennomgå, nemlig diskusjon i hele verdenseliten innen eksperi-



Figur 5. Snitt gjennom en halvtønne av SAT-detektoren. I (a) vises den delen av SAT som var utstyrt med silisium stripedetektor. De to detektorplanene i silisiumdetektoren og de tre innerste ringene av utlesningselementer i kalorimeteret, samt den ekstra blymaskeringen, er vist. I (b) vises det andre SAT-kalorimeteret med wolframring og ekstra blymaskering (se teksten). De svarte punktene antyder tyngdepunktet til den elektromagnetiske skuren (se boks om kalorimetri) fra et elektron som akkurat passerer kanten av maskene.



Figur 6. Tidsutviklingen av de publiserte eksperimentelle (firkanter) og teoretiske (trekanter) systematiske usikkerheter i luminositetsmålingen med SAT-detektoren.

mentell partikkelfysikk på alle større internasjonale konferanser, er en stor suksess og en triumf for norsk eksperimentell partikkelfysikk.

Elektromagnetisk kalorimetri

Kalorimetri er tradisjonelt den del av eksperimentell fysikk som dreier seg om å måle absorbert eller avgitt varme når et materiale gjennomgår en endring av sin fysiske eller kjemiske tilstand. Apparaturen som brukes kalles et kalorimeter, og signalet en observerer er som oftest en temperaturendring. Temperaturendringen i et makroskopisk legeme som utsettes for bestråling fra partikler i et partikkelfysikk eksperiment, er imidlertid for liten til å kunne måles, så et kalorimeter for partikkelfysikk er konstruert for å produsere en annen type signal som er proporsjonalt med den innkommende partikkels energi.

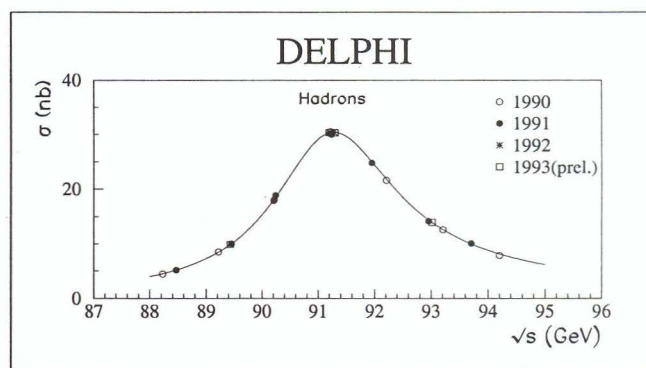
Et høyenergetisk elektron som kommer inn i materie vil sende ut bremsestråling. Resultatet er et foton og et elektron med litt lavere energi. Fotonet vil ved parproduksjon omvandles til et elektron-positron par. De to elektronene og positronet vil igjen sende ut bremsestråling som vil danne nye elektron-positron par osv. Vi sier at det utvikles en elektromagnetisk skur. Ved siden av energitap i form av bremsestråling, mister de ladde partiklene energi ved ionisasjon av mediet de beveger seg i. Skurutviklingen stanser når partikkelenergiene blir så lave at bremsestråling og parproduksjon ikke lenger er dominerende prosesser. Et høyenergetisk foton vil også danne en elektromagnetisk skur, idet det først vil danne et elektron-positron par, og skurutviklingen fortsetter som beskrevet ovenfor.

I visse typer materialer omsettes deler av energien som de ladde partiklene avsetter, til lys. Slike materialer kalles *aktive*. En type aktivt materiale som brukes mye, er plastscintillatorer. Et elektromagnetisk kalorimeter kan konstrueres ved å la lag av et tungt materiale (ofte bly) alterneres med lag av det aktive materialet. Hovedtyngden av skurutviklingen foregår i det tunge materialet mens de ladde partiklene (elektroner og positroner) som passerer de aktive lagene skaper lys. Lyset ledes til en lysdetektor hvor det omdannes til strømpulser som deretter forsterkes og leses ut. Det viser seg at antall ladde partikler i skuren, og dermed den genererte lysmengden, er proporsjonal med energien til den innkommende partikkelen. Etter å ha bestemt proporsjonalitetskonstanten mellom det utleste elektriske signalet og den innkommende partikkelenergien, kan dette såkalte *elektromagnetiske kalorimeteret* brukes til å måle energien til elektroner og fotoner.

SAT-detektoren som beskrives i denne artikkelen, besto av alternerende lag av bly og scintillerende optiske fibre. Fibrene ble buntet, og hver bunt ledet lyset som var generert i en avgrenset del av detektoren til en fotodiode hvor det ble omsatt til et elektrisk signal.

Resultater

Figur 7 viser virkningstverrsnittet for $e^+e^- \rightarrow q\bar{q} \rightarrow$ hadroner som funksjon av massesenterenergien (Z^0 s eksitasjonskurve). Den heltrukne linjen er beste standardmodell-tilpasning til dataene. Overensstemmelsen er perfekt innenfor den presisjon virkningstverrsnittene er bestemt med. Et av hovedbidragene til usikkerheten er nettopp den eksperimentelle systematiske usikkerheten i luminositetsmålingene. Som vist i ref. 2, kan antall lette nøytrintyper bestemmes ut fra eksitasjonskurven. Resultatet for DELPHI-data til og med 1993 (altså for de data der SAT bestemte luminositeten) er $N_\nu = 3,027 \pm 0,029$, hvor usikkerheten inneholder både de eksperimentelle og de teoretiske bidragene. Jo mer presist N_ν er bestemt, jo større er følsomheten for effekter fra ny fysikk utover Standardmodellen.



Figur 7. Standardmodell-tilpasning av virkningstverrsnittet for $e^+e^- \rightarrow Z^0 \rightarrow$ hadroner som funksjon av massesenterenergien (eksitasjonskurve).

Litteratur

1. L. Bugge: *Elektrosvak fysikk ved LEP – Del I*. Fra Fysikkens Verden 58, Nr. 2, 43 (1996)
2. L. Bugge: *Elektrosvak fysikk ved LEP – Del II*. Fra Fysikkens Verden 58, Nr. 3, 67 (1996)

∞

STUDÉR FYSIKK!

Moderne fysikk 100 år

Per Chr. Hemmer *

Overskriften er dristig. Den viser til at Joseph John Thomson, leder av Cavendish-laboratoriet i Cambridge, i et foredrag 30. april 1897 annonserte eksistensen av *elektronet*. Ordene "Moderne fysikk" må forsvares med at elektronet var den første subatomære partikkel – den første elementærpartikkel som ble oppdaget. I alle fall er betydningen udiskutert: Elektronet og fotonet er hovedaktørene som står for det meste av handlingen i de skuespill naturen oppfører, mens statistene er mange. Fotonet kom jo også for omlag et sekel siden (Planck 1900, Einstein 1905), men elektronet kom først. I vår elektroniske tidsalder er det mer enn pussig å tenke på at i de første årene etter elektronets oppdagelse pleide følgende skål å bli utbrakt ved Cavendish-laboratoriets årsfest:¹ *The electron: may it never be of use to anybody!*

Barnet var blitt døpt tidligere. I en 1894-artikkel av den irske fysiker George Johnstone Stoney² med tittelen *Of the "Electron", or Atom of Electricity*, sier han:

... this most remarkable fundamental unit of electricity, for which I have since ventured to suggest the name electron.

Stoney hadde i 1874 - og von Helmholtz noe senere - påpekt at Faradays lover for elektrolyse medførte at det måtte eksistere en elektrisk elementærladning e som var knyttet til atomenes kjemiske valens. Von Helmholtz³ formulerte det slik:

If we accept the hypothesis that the elementary substances are composed of atoms, we cannot avoid concluding that electricity also, positive as well as negative, is divided into definite elementary portions which behave like atoms of electricity.

Og elektrolyse ga de første estimatene av elementærladningen e . Ladningen F som strømmer til

elektroden med ett gram hydrogenioner var målt, og vet en hvor mange atomer (N_A) det er i ett gram hydrogen, så er elementærladningen gitt som $e = F/N_A$. En omtrentlig verdi for Avogadros tall var kjent fra kinetisk gassteori, og dette ga de første grove overslag for størrelsen av elementærladningen.

Thomson⁴ brukte senere en alternativ metode utviklet av hans elev Charles T. R. Wilson, for å bestemme e . Ved å utvide fuktig luft raskt i et kammer uten støv, men med ioniserende stråling til stede, vil vann kondensere i form av små dråper på tilstedeværende ladede partikler. (Begynnelsen på Wilsons tåkekammerarbeider!) Ved å finne dråpestørrelsen fra Stokes formel for fallhastigheten, og måle totalt kondensert vann, kunne de beregne antall dråper. Total ladning på disse kunne også måles, og ved å anta at hver dråpe hadde én ladning som kondensasjonskjerner, kunne e beregnes.

En ting var at ladning var kvantisert. En annen ting var i hvilken form ladningen var assosiert med atomene. Dette var uklart. At bæreren av negativ elektrisitet kunne være en *partikkel* som var en mindre del av et atom, var en ny idé som ikke var enkel å akseptere. Maxwell erklærte autoritativt: "*An atom is a body that cannot be cut.*" Og i 1875 sier han⁵ at atomene

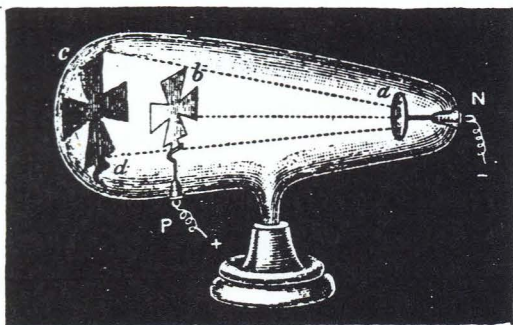
...remain unbroken and unworn. They continue to this day as they were created – perfect in number and measure and weight.

Fenomenet som ga avklaringen var *katodestråler*, som oppstår når en høy spenning settes over to elektroder i et evakuert glassrør. Slike rør var ikke bare å finne i laboratoriene, men også som fargerik underholdning i salongene. Eksempelvis starter en populærartikkel i Elektroteknisk Tidsskrift⁶ i 1896, slik: "Enhver kjender det Geislerske rør og de glimrende lyseffekter, som fremkommer, naar det gjennomstrømmes af elektriske udladninger." Geissler var mannen som var i stand til å produsere rør med godt vakuum, som på den tiden betød trykk ned til ca. 0,01 mm Hg.

*Institutt for fysikk, NTNU

Når trykket ble lavt nok forsvant ”de glimrende lyseffektene”, og strømmen av elektrisitet mellom elektrodene ble usynlig. Treffer strålen glassveggen lyser denne opp med en grønnlig fosforescens. I oppklaringen av katodestrålens natur var mange fysikere med i oppløpet, og den vanlige oppfatningen er at J. J. Thomson vant spurten.

Enkelte egenskaper ved katodestrålene ble klarlagt etter hvert. At katodestrålene går i rette linjer fra katoden til anoden ble klargjort av Johann Wilhelm Hittorf og i mer detalj av William Crookes, ved simpelthen å vise at metallstykker som settes i strålegangen kaster skarpe skygger. (Figuren, hentet fra ovennevnte artikkel i Elektroteknisk tidsskrift, illustrerer dette.) Crookes viste også at strålene hadde impuls ved å sette en ørliten vindmølle inn i strålen.



Figur 1. Katodestrålerør med kors som kaster skygge (a er katoden og b anoden).

Det var to totalt ulike syn på hva katodestrålene var. Ledende engelske fysikere trodde strålene var negativt ladede partikler, mens de fleste tyske fysikere trodde strålene var noen slags elektromagnetiske bølger, en ”bølgebevegelse i eteren”. To eksperimentelle resultater ble tatt til inntekt for den siste (ukorrekte) oppfatningen. Det første var at Heinrich Hertz i 1892 viste at katodestrålene kunne gå igjennom tynne metallfolier. Dette talte imot at det var partikkelstråler, fordi partikkelstråleforkjemperne (som Crookes) hadde partikler av *atomær* størrelse i tankene. Det andre var at tidligere hadde Hertz funnet at et ytre elektrisk felt ikke syntes å påvirke katodestrålene, noe det burde dersom de hadde vært strømmen av negative ladninger. Katodestrålene syntes heller ikke å påvirke en magnetnål utenfor glassrøret, slik som det forventes av en strøm. Et tredje argument mot det ”engelske syn” ble fremmet av Eugen Goldstein som beregnet den midlere frie veglengde av ladede par-

tikler (igjen antatt av atomær størrelse!) ved lufttrykket i røret, og fant den så liten at det var umulig for en slik partikkelstråle å følge en rettlinjert bane.

I ettertid viste det seg at den manglende felt-effekt i eksperimentene til Hertz skyldtes at den gjenværende luft i røret ble ionisert av strålene, og dette ioniserte mediet skjermet ladningene i katodestrålen. Ved lavere trykk viste Philipp Lenard i 1894 at strålene tross alt ble avbøyd i elektriske felt. Lenard satte også inn en metallfolie i veggen slik at han kunne få katodestrålene ut av røret. Det er temmelig paradoksalt at i et glasshus måtte en ha et metallvindu for at strålene skulle komme ut!

At det var *negative* ladninger, klargjorde Jean Baptiste Perrin allerede i 1895 på direkte vis. Han satte en metallsylinder inn i glassrøret, samlet opp ladningen som strålene førte og viste at den var negativ.

I 1897 foregikk sluttspurten, mellom Perrin, Emil Wiechert, Walter Kaufmann og Thomson. Men det er også andre som bør nevnes. Slår en opp i tidsskriftene for 1896–97 finner en mange artikler om katodestråler og innvirkningen av magnetfelt på disse, de aller fleste rent kvalitative. Kristian Birkelands artikkel fra 1896, ”Om katodestraaler under påvirkning av stærke magnetiske kræfter”, ble gjenopptrykt i utlandet og lagt merke til.⁷

Hva med det kvantitative estimat av e/m ? Jeg syns det kunne være interessant å se hva oppfatningen var i nær ettertid, og undersøkte derfor hva den grundige *Handbuch der Physik* meddelte i 1905 (like før nobelprisen ble gitt til Thomson!). Den gir en liste over verdier for e/m , med referanse til opphavsmannen. Første navn på listen er Arthur Schuster i Manchester, og året var 1890. Schusters verdi var ikke spesielt god. I tillegg kom at han trodde ikke på en så liten masse som verdien impliserte, og foreslo at resultatet måtte skyldes nedbremsing av restgassen i røret. Mange år senere beklaget han at han ikke hadde mer tiltro til sitt eget eksperiment, men sier også at hadde han publisert en så liten masseverdi var han redd at han ville ”hardly have been considered a serious physicist”.⁸

Hertz ville nok ha vært en seriøs konkurrent. Men han gikk bort i 1894, så han var ute av løpet. Birkeland skriver i 1896: ”Jeg ved, at Hertz tænkte at gjenoptage forsøgene over kathodestråler, og at han satte stor fortrøstning til dem; han skaffede sig nettop de siste maaneder han levede et akkumulatorbatteri paa 5000 elementer for rigtig alvorlig at tage fat.”

Allerede høsten 1896 hadde Pieter Zeeman observert virkningen av et magnetfelt på spektrallinjer. Ved hjelp av Lorentz' modell av et atomfragment (kalt "ion") med masse m og ladning e harmonisk bundet i et atom, sammen med den målte splittingen i et magnetfelt, kunne Zeeman estimere e/m . Resultatet var av riktig størrelsesorden for et elektron. Men Zeeman har overhodet ingen kommentar til den lave verdien for massen som en får dersom Stoneys estimat for e brukes.

Av de fire finalistene i 1897 var Perrin for sent ute. Han fortalte i sin nobelforelesning⁹ at han i 1897 var i gang med å måle katodestrålenes avbøyning i elektriske og magnetiske felt da Thomsons artikkel¹⁰ ble publisert.

Wiechert var raskere: I en forelesning 7. januar 1897, demonstrerte han avbøyning av katodestråler i et magnetfelt.¹¹ Krumningsradien av banen var proporsjonal med hastigheten v og med masse/ladnings-forholdet m/e . En øvre grense for hastigheten v i spenningsfallet V fikk han fra energi-kravet $\frac{1}{2}mv^2 \leq eV$, og han estimerte også en nedre grense for v . Han antok at ladningen var elementærladningen, og kunne dermed estimere m . Det er første gang en subatomær partikkel nevnes i litteraturen.¹²

... die Masse der bewegten Teilchen zeigte sich
2000–4000 mal kleiner als die der Wasserstoff-
atome...

Kaufmann målte også, i april 1897, avbøyningen av katodestråler i et magnetfelt.¹³ Han fikk en betydelig nøyaktigere verdi for e/m enn Wiechert og Thomson hadde fått. Han brukte forskjellig gassrester i glassrøret, og fant *samme* verdi for e/m uansett om det var luft-, hydrogen- eller karbondioksidsrester i røret. Det var for ham problematisk, for han skriver at dersom en gjør den mest plausible antagelse at de bevegelige partikler er ioner, så burde e/m ha forskjellig verdi for hver gass. Han følte seg også plaget av samme vanskelighet som Schuster, at verdien hans for e/m var tusen ganger større enn verdien for et hydrogenion. Kaufmanns konklusjon er derfor at hypotesen om at katodestråler er partikler er ute av stand til å forklare de eksperimentelle resultatene!

Thomson målte først hastigheten av strålene ved å bruke nullavbøyning i kryssede elektriske og magnetiske felt, og så bestemte han e/m ved å se på avbøyningen i et elektrostatiske felt alene. I

den publiserte artikkelen i august 1897, konkluderer han:¹⁰

From these determinations we see that the value of m/e is independent of the nature of the gas, and that its value 10^{-7} is very small compared with the value 10^{-4} , which is the smallest value of this quantity previously known, and which is the value for the hydrogen ion in electrolysis. ... The smallness of m/e may be due to the smallness of m or the largeness of e , or a combination of these two.

Ved å argumentere med at den midlere frie veglengde for katodestrålene er mye større enn for molekyler, konkluderer han:

The carrier, then, must be small compared with ordinary molecules.

Artikkelen har ingen referanser, men Thomson nevner fire fysikere: Perrin, Crookes, Lenard og Birkerland.

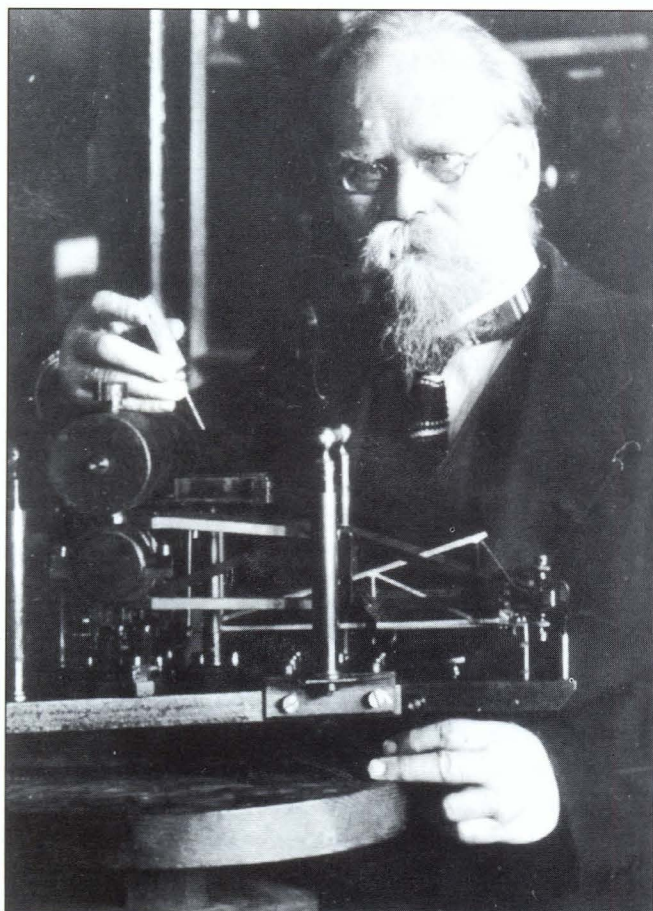
Senere viste Thomson at partiklene som ble produsert ved den fotoelektriske effekt hadde samme e/m -forhold som partiklene i katodestråler.⁴ Det er ubarmhjertig, men fristende å gjengi en uttalelse fra Thomsons assistent: "*J.J. was very awkward with his fingers, and I found it necessary not to encourage him to handle the instruments*".¹⁴ Det forhindret ikke at Thomson gjorde fundamental eksperimentalfysikk.

Hvem oppdaget så elektronet? Kanskje Wiechert som var først? Kanskje Thomson som målte både m/e og e ? Den vanlige reservasjonsløse oppfatning at det var Thomson, har kanskje litt å gjøre med at Thomson var professor i Cambridge, mens Wiechert forlot fysikken i 1897 til fordel for geofysikk?

Thomson fikk nobelprisen i 1906. Men nobelkomitéen var forsiktig; den unngikk å nevne elektronet, bare Thomsons "teoretiske og eksperimentelle undersøkelser av gassers elektriske ledningsevne".

Det er pussig at mens J. J. Thomson *de facto* fikk nobelprisen for å ha vist at elektronet er en partikkel, så fikk hans sønn George P. Thomson nobelprisen for i 1927 å ha vist at elektronet er en bølge! Det måtte gi grunnlag for interessante diskusjoner i familien, for J. J. Thomson aksepterte egentlig aldri kvantemekanikken. Hans lærebøker i atomteori fra 1914 og 1923 nevner ikke Bohrs kvanteteori, og i 1936 skriver han nedlatende at kvanteteorien har "*in some departments of spectroscopy*

changed chaos into order, ... the most valuable contributions which quantum theory has ever made to physical science".¹⁵



Figur 2. Emil Wiechert

Forholdene rundt elektronets oppdagelse er som vi har sett, kompliserte. Det reflekterer at vitenskapelige oppdagelser som oftest skjer i et samspill mellom flere aktører. Om det kanskje er problematisk å la Thomson få æren av å stå som "elektronets oppdager", så er det temmelig klart at 1897 er det sentrale året.

Referanser

1. E. N. da C. Andrade: *Rutherford and the Nature of the Atom*. Doubleday, New York (1964) p. 48.
2. G. J. Stoney: *Of the "Electron", or Atom of Electricity*. *Phil. Mag.* **38**, 418 (1894)
3. H. von Helmholtz: *On the modern development of Faraday's conception of electricity*. *J. Chem. Soc.*, **39**, 277 (1891)
4. J. J. Thomson: *Phil. Mag.* **48**, 547 (1899)
5. W. P. Niven, ed.: *The scientific papers of J. C. Maxwell*. Cambridge, Vol. 2, 418 (1890)
6. S. (trolig Sem Sæland): *Kathodestraaler og Røntgenske X-straalet*. *Elektroteknisk Tidsskrift* No 6, 81 (1896)
7. K. Birkeland: *Om kathodestraaler under paavirkning av stærke magnetiske kræfter*. *Elektroteknisk Tidsskrift* No 8, 4 (1896)
8. S. Devons: *The body electric*. *The Sciences*, **26**, March/April (1997)
9. J. B. Perrin: *i Nobel Lectures, Physics 1922-1941*. Elsevier, Amsterdam (1965) p. 138.
10. J. J. Thomson: *Cathode rays*. *Phil. Mag.* **44**, 293 (1897)
11. E. Wiechert: *Über das Wesen der Elektrizität*. *Sitz.ber. der Phys.-Ökonom. Ges. Königsberg*, **38**, 3 (1897), ifølge Pais.¹²
Vi fysikere assosierer vel Wiechert med Liénard-Wichert-potensialene for en ladning i bevegelse, men han er mest kjent som geofysiker. Han oppfant bl.a. Wiechert-seismografen. – Jeg er Markvard Sellevoll takknemlig for at han, via Göttingen, fremskaffet bildet av Wiechert.
12. A. Pais: *Inward Bound*. Oxford (1986)
13. W. Kaufmann: *Ann. der Phys. und Chem.* **61**, 544 (1897), ifølge Pais.¹²
14. S. Weinberg: *The first elementary particle*. *Nature* **386**, 213 (1997)
15. J. J. Thomson: *Recollections and reflections*. Bell, London (1936) p. 425.

∞

HUSK Å BETALE KONTINGENTEN!

Realisering av masseskalaen fra 0,1 mg til 500 kg fra den norske 1 kg riksprototypen

Thor Myklebust *

Innledning

Enheten for masse er definert på følgende måte: *Et kilogram er massen av den internasjonale kilogram-normal umiddelbart etter at den er rengjort og vaske i henhold til BIPM-metoden for å rengjøre og vaske lodd.*^{1,2} I denne artikkelen beskrives hvordan man etablerer sporbarhet fra 1 kg til hele intervallet fra 0,1 mg til 500 kg. Dette er det området hvor man benytter loddnormaler og dermed det intervallet hvor måling av masse kan gjøres mest nøyaktig.

Det er mange måter man kan realisere masseskalaen fra 1 kg-normalen til 0,1 mg – 500 kg lodd, på. For Justervesenet er ett av de viktig-

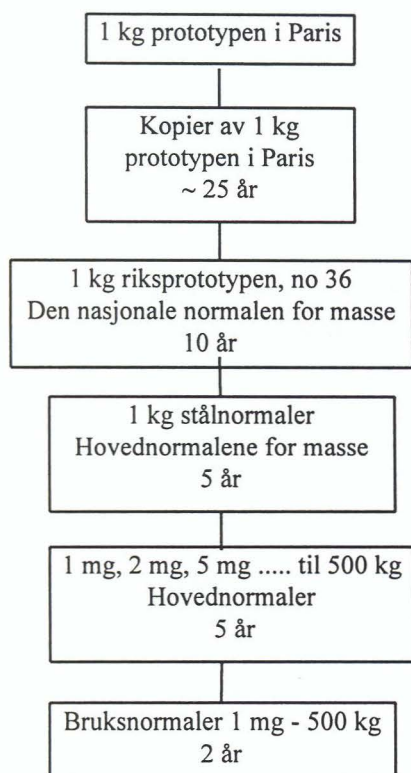
ste målene at dette blir utført på en tilstrekkelig nøyaktig måte. For å oppnå dette må man vurdere utstyret, målemiljøet, loddreferansene og 'designmatrisen' (ofte kalt målematrisen, den beskriver hvordan loddnormalene blir sammenlignet). I 1992 begynte vi derfor å skifte ut referansenormalene av messing med de mest moderne stålnormalene. Nesten alle lodd som benyttes i Norge i dag er sub- eller multipler av 1, 2 og $5 \cdot 10^k$ kg, hvor k er et positivt eller negativt helt tall, eller null. Den internasjonale standarden for lodd, OIML R 111, tillater kun slike verdier på loddene.³

Figur 1 viser hierarkiet for massenormaler. I hver boks er det angitt hvor ofte de forskjellige loddnormalene kalibreres. Det er bruksnormalene som benyttes til kalibrering av loddnormalene for industrien.

For å kunne kalibrere lodd som er forskjellige fra 1 kg, sammenligner man først 1 kg referansen med en dekade av andre loddnormaler nedover og/eller oppover, f.eks. dekadene 1 kg – 100 g. Metoden er beskrevet av M. Zuker et.al.⁴

Utstyr

Sammenligningen mellom referanseloddene og loddnormalene som kalibreres, blir utført ved hjelp av hel- og halvautomatiske målesystem. Samtidig med at loddnormalene blir veid på en massekomparator (spesielt nøyaktig vekt som kun kan benyttes til å sammenligne lodd), måler man kontinuerlig temperaturen, duggpunktet og lufttrykket. Hvor det kreves størst mulig nøyaktighet, måler vi også CO₂-konsentrasjonen. Grunnen til at vi måler de forskjellige luftparametrene er at vi må beregne luftoppdriften.⁵ Lodd har forskjellig tetthet og dermed også forskjellig volum. På grunn av luftoppdriften virker en 1 kg loddnormal omtrent 150 mg lettere enn den ville ha gjort i vakuum. Derfor må vi kjenne tettheten/volumet til alle våre loddreferanser svært nøyaktig. Vi kan f.eks. bestemme



Figur 1. Hierarkiet for masse.

*Justervesenet

massen til et 1 kg lodd med en måleusikkerhet på ± 40 mikrogram (relativ usikkerhet på $4 \cdot 10^{-8}$).⁶ Ofte er vi interessert i kun å finne massedifferansen mellom to lodd. Den kan vi måle med en relativ usikkerhet på $\sim 5 \cdot 10^{-9}$.

Influensstørrelser og usikkerhet

Metoden vi bruker for å bestemme massen til loddnormaler er basert på kraftmåling. Nøyaktigheten er da svært viktig. Nedenfor er alle de signifikante influensstørrelsene og usikkerhetskomponentene ved kalibrering av våre 0,1 mg – 500 kg hovednormaler, angitt.

Loddreferansen(e)

Loddreferansen(e) er ofte den største usikkerhetskomponenten ved de mest nøyaktige målingene. I beste fall kjenner vi massen til våre stålnormaler med en usikkerhet på $4 \cdot 10^{-8}$. Da har vi også inkludert usikkerheten i hvor mye normalen legger på seg i løpet av et år. Figur 2 viser loddnormaler av forskjellig kvalitet. Massen til støpejernslodd blir normalt bestemt med en usikkerhet på $5 \cdot 10^{-5}$.



Figur 2. Forskjellige 500 kg loddnormaler som benyttes. Den til høyre er av austenittisk stål, mens de andre er laget av jern og støpejern. Loddnormalen av austenittisk stål har liten følsomhet for magnetiske felt da denne legeringen normalt vil være umagnetisk.

Målt masseforskjell mellom loddene

Loddene som skal kalibreres har alltid en masse som avviker noe fra massen til referansen. Vi får derfor en usikkerhetskomponent på grunn av at vi ikke kjenner (u)lineariteten til massekomparatoren tilstrekkelig godt.

Luftoppdrift

Luftoppdriften må bestemmes mer nøyaktig jo større forskjell i volum det er mellom loddene som sammenlignes. I slike tilfeller må vi ha nøyaktig kjenskap til lufttettheten, volumet til loddene og deres utvidelseskoeffisient.

Konveksjon

Når det er forskjellig temperatur på loddet og omgivelsene, oppstår såkalte konveksjonskrefter. Dette er et problem da selv små temperaturforskjeller kan ha en signifikant innvirkning på måleresultatet. Ved en temperaturforskjell på 0,8 mK mellom et 1 kg lodd og omgivelsene, vil vi få en feil på grunn av konveksjon på $\sim 1 \mu\text{g}$. For å forhindre at denne effekten påvirker målingene, må vi plassere loddene inne i massekomparatoren minst 28 timer før vi skal begynne målingene. I tillegg må vi vanligvis sløyfe de 20 første målingene i veieserien.

Tyngdekraften

Lodd med samme masse kan ha forskjellig tyngdepunkt, og tyngdens akselerasjon, g , forandres med høyden: $\Delta g = (-3,0 \pm 0,15) \cdot 10^{-6} \text{ m/s}^2$ pr meter oppover i fri luft.^{7,8} Ofte er høydeforskjellen til massemiddepunktene for to lodd så stor at man må korrigere for dette. Et 1 kg lodd vil virke 0,01 mg lettere hvis det har et massemiddepunkt som er 3,3 cm høyere enn et annet 1 kg lodd.

Magnetisme

For å kunne vurdere denne effekten må vi kjenne de magnetiske egenskapene (susceptibiliteten og magnetiseringen) til både loddnormalene og massekomparatorene, og dertil må vi kjenne det magnetiske feltet og feltgradienten. Til å finne susceptibiliteten og magnetiseringen av loddnormalene, har vi utviklet et eget svært følsomt instrument.⁹ Det kan benyttes til å måle loddenes volum-magnetiske susceptibilitet, κ , helt ned til 0,00002 med en usikkerhet på ca. 20 %. Ved hjelp av dette instrumentet velger vi ut hvilke loddnormaler som kan bli våre hovednormaler slik at de magnetiske kreftene blir neglisjerbare.

Elektrostatiske krefter

Elektrostatiske krefter kan ha stor innvirkning på våre målinger når luften har lav relativ fuktighet, men tester har vist at når fuktigheten er over 40 %

RH, så oppstår det ingen signifikante problemer. Vi har derfor et 'aircondition'-system som holder fuktigheten over dette nivået. I tillegg blir fuktigheten målt ved hver kalibrering.

Adsorpsjon av fuktighet på loddene

En del av våre lodd med samme masse har forskjellig overflate, renhet på overflaten og overflateruhet. Når den relative fuktigheten varierer, vil massen til loddene påvirkes ved at det adsorberes fuktighet på overflaten. Denne effekten er signifikant ved sammenligning av våre mest nøyaktige lodd når fuktigheten varierer med mer enn 4 % RH.

Konklusjon

I denne artikkelen har vi beskrevet ett av de oppdragene som blir utført ved det nasjonale masselaboratoriet i Norge. I løpet av de siste 7 årene er dette arbeidet blitt mye viktigere da antallet laboratorier som ønsker nøyaktig kalibrering av sine loddnormaler har økt fra omtrent 10 til over 100. Disse laboratoriene ønsker en relativ usikkerhet på $5 \cdot 10^{-7}$. I tillegg begynner det å bli mer aktuelt for flere laboratorier å få loddene sine kalibrert med en usikkerhet på $1,5 \cdot 10^{-7}$. Vi vil kunne oppnå større nøyaktighet senere ved at lufttettheten måles mer nøyaktig ved hjelp av spesielle lodd med samme masse og overflate, men med stor forskjell i volum. Dette oppnås ved at ett av loddene har et hulrom. I tillegg vil massekomparatoren plasseres i en trykk-klokke hvor lufttrykket kan holdes stabilt.

Referanser

1. *Proc. Verb. Com. Int. Poids et Mesures*. BIPM 57, 104 (1989)
2. G. Girard: *The washing and cleaning of kilogram prototypes at the BIPM*. BIPM (1990)
3. OIML R 111. *Weights of classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_2 , M_3* . (1994)
4. M. Zuker, G. Mihailov and M. Romanowski: *Systematic search for orthogonal systems in the calibrations of submultiples of the unit of mass*. *Metrologia* 16, 51–54, (1980)
5. R.S. Davis: *Equation for the determination of the density of moist air (1981/1991)*. *Metrologia* 29, 67–70 (1992)
6. *ISO guide to the expression of uncertainty in measurement*. (1993)

7. G. Barbato et.al.: *Gravity correction: A preliminary proposal*. OIML Bulletin Vol. XXXV, No 2 (1994)
8. S.A. Thulin: *The local value of g*. Bulletin OIML No 94 (1984)
9. T. Myklebust: *Instrument for måling av magnetisk susceptibilitet*. Justervesenet (1994)

∞

Konferanse

Dynamical properties of unconventional magnetic systems, NATO ASI, Geilo, 1997

Etter at påsketuristene hadde flyttet ut, inntok nær 100 fysikere fra 24 land hotellene på Geilo. NATOs 'Advanced Study Institute' har vært arrangert hvert annet år på Geilo helt siden 1971, og i år ble det 14. kurset feiret som et 25-årsjubileum med fest og taler. Den vanskelige tittelen ovenfor skjuler en hel rekke interessante emner og nyvinninger innafor magnetismeområdet som er blitt aktuelle forskingsfelt for nøytronspredere og andre magnetismeforskere i nittiåra. Det har også vist seg at disse oppdagelsene kan få vidtrekkende praktiske anvendelser innafor datalagringsteknologien ettersom de gir muligheter for stadig tettere lagring av data på platelagre, og sikrere og hurtigere innskriving og utlesing av disse.

Hva er "vanlige" magnetismefenomener?

Magnetismefenomenene er en del av faststoff- og væskefysikken, og all deres rikdom og spennende oppførsel bestemmes av kvantemekanikk og elektrostatiske vekselvirkninger mellom elektroner og atomkjerne. I systemer eller krystaller med mangeartede atomslag kan en finne overraskende nye fenomener. Teoretikernes oppgave blir ikke bare å finne de grunnleggende årsakene til de kompliserte strukturene som dannes, altså de statiske ordningsforhold, men også beskrive det yrende liv av bevegelser som foregår på alle plan i slike strukturer, altså dynamikken i systemene: Atomene beveger seg bort fra sine likevektsstillinger, elektronene tråkler seg mellom atomene, og atommagneter vipper og dreier seg bort fra magnetiseringsretninger. Alt dette kan beskrives ved hjelp av energifortetninger, kvasipartikler, og kvanter med forskjellige egenskaper.

En kan si at grensa mellom hvilke fenomener som skal kalles vanlige eller uvanlige innen fysisk forskning, flytter seg stadig. I vår sammenheng var det tydelig at alt som var oppdaget og beskrevet innen magnetismen fra 70- og 80-åra ble oppfattet som konvensjonelt, vanlig. En hadde funnet hvordan vekselvirkningene mellom ionenes ytre elektronkappe, orbitalene, og krystallinske felt ga opphav til ordnede magnetiske strukturer (slik som ferromagneter, antiferromagneter og magnetiske spiraler). Kvantene eller kvasipartiklene som tilhørte de dynamiske forholdene på disse strukturene fikk navn som fononer, spinnbølger og eksitoner. Oppdagelsen av fysiske fenomener ved de såkalte kritiske punkter førte til utvikling av begreper som kritiske eksponenter, universalitet og det stolte byggverket renormaliserings-gruppeteori. Dette var teorier og begreper som også med hell kunne overføres til andre områder innen fysikken. Magnetismeområdet ble en "skytebane", et teoretisk øvingsfelt, for ulike faststoffteorier, kooperative fenomener og neurale nettverksteorier. Ut av dette kom det praktiske resultater som f.eks. bedre permanentmagneter, ulike nye magnetiske data-lagringsformer og bedre båndopptakere.

Det er ikke dermed sagt at såkalte konvensjonelle magnetiske fenomener er et godt forstått eller avsluttet forskningsfelt. En har framleis problemer med å regne ut magnetiske vekselvirkninger, en har vansker med teorien for såkalte tunge fermioner, og oppførselen til metallisk krom har vært en vanskelig nøtt å knekke. For høytemperatur superledning har en svært mange teorier og forklaringsmodeller uten at noen enkelt utpeker seg som teorien som forklarer alt. Dessuten er det kommet en hel del nye uventede resultater, både teoretiske og praktiske, slik som fra teoriene for endimensjonale systemer og framstillinga av kunstige magnetiske multilagskrystaller.

Uvanlige magnetiske fenomener

Under kurset fikk vi presentert foredrag som både tok for seg en slags "etterrakst" innafor det konvensjonelle feltet og andre som ville forsøke å presentere den mest oppdaterte teoretiske forståelsen av alle de "uvanlige" fenomenene som en hadde sett i de nye magnetiske systemene som enten allerede var produsert eller som en kunne ønske å lage for å prøve ut sine ideer. Dette gjaldt ikke bare statiske strukturer, men også fluktuasjoner og eksiterte tilstander i dem.

Vi var innom ulike endimensjonale, antiferromagnetiske systemer og deres ordningsforhold, Ising-modellen i transverselle felt, hørte om kvantekritiske systemer i metaller ($T_c = 0$), kvanteprikker, superparamagneter av mesoskopisk størrelse (≈ 5000 spinn i ferritin), molekylærmagneter, domenevegger, supergitre av sjeldne jordartselementer, spinntetthetsbølger i elementet krom, oppførselen til magnetiske Dyno-kuler beskrevet ved hjelp av fletteteori, og elding i spinnglass-systemer. Det er mulig at knute- og fletteteori kan danne et nytt utgangspunkt for å beskrive komplekse hendelser ved hjelp av symbolsk dynamikk.

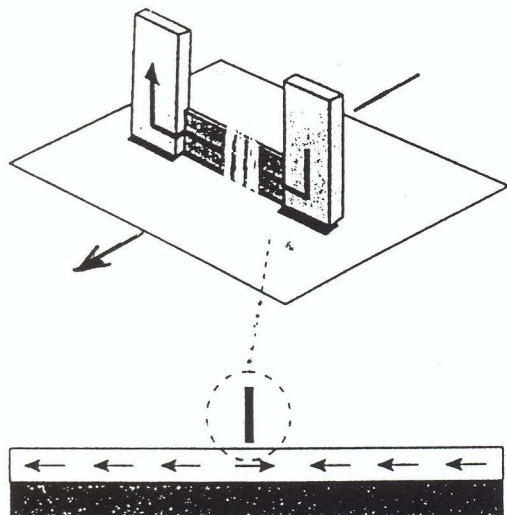
Utvikling av nye magnetiske platelagre

En forskningssjef fra IBM, S.S.P. Parking, fortalte med stor entusiasme om utviklinga av store datahukommelser. I tynne magnetiske sjikt dampet på en umagnetisk plate vil magnetiseringsretninga til domenene være avhengig av tykkelsen på sjiktet. For ultratynne sjikt vil retninga peke normalt på planet ettersom energileddet for overflateanisotropi er større enn leddet for formanisotropi. For sjikt av jernatomer på kopperflater skjer dette når en har 2–5 atomlag. En har da også et stort spredetfelt utafor sjiktet. Øker tykkelsen til 10 atomlag, legger magnetiseringsvektorene seg i planet med mindre spredetfelt. Når de to konkurrerende leddene er omlag like store, innebærer dette en spesiell ustabil magnetisk fasetilstand. Disse effektene vil også være temperaturavhengige, og temperaturen vil også virke inn på formen av domenene. En databit i en hukommelsesenheter bør bare bestå av en magnetisk domene, så liten som mulig, og stabil både i tid og overfor temperaturendringer. Det er klart at slik kunnskap som ovenfor er av stor betydning for konstruktører av dataminner.

Kjempestor magnetomotstandseffekt

Avlesningshodene har også gått gjennom en revolusjon. De skal avføle de svake magnetiske spredetfeltene fra bitene og gjøre dem om til elektriske signaler. Her er det at lesehoder bygd opp av ultratynne vekslende sjikt av magnetiske (f.eks. Co) og umagnetiske (Cu) elementer, kommer inn. Sendes strøm vinkelrett på sjiktplanene, viser det seg at et svakt ytre magnetfelt kan endre motstanden i lesehodet, altså virke som en ventil for strømmen. For noen valg av sjikttykkelser og elementtyper er denne effekten virkelig stor, derav navnet "giant

magneto-resistance". Plasserer en slike oppkoplede lesehoder tett inntil et roterende platelager, vil en kunne avlese bitene på plata med stor hastighet (se figur 1). Datatettheten var i 1956 300 b/cm², i 1996 100 Mb/cm² og i 2010 vil den kanskje bli 100 ganger større enn dette igjen!



Figur 1. Øverste del av figuren viser et lesehode for databiter. De er innskrevet i et tynt magnetisk sjikt på en roterende hard-disk i form av områder med motsatte magnetiseringer (se nederste del). Den aktive sensoren består av et område der to tynne magnetiske sjikt er atskilt av et umagnetisk sjikt. Dette utgjør da en magnetomotstand. En liten strøm sendes gjennom enheten slik at en får et spenningsfall som bestemmes av motstanden i enheten. Hvis sensoren holdes nær nok platen, vil spreddefeltet fra en bit være nok til at en får en spenningspuls fra lesehodet.

Ny start for høgtemperatur superledning?

Vi fikk også høre siste nytt om utviklinga innafor området høgtemperatur superledning, direkte fra mannen som i 1986 endret totalt alles syn på framtidsutsiktene for praktisk bruk av superledning, nemlig nobelprisvinneren K. Alex Müller. Hans banebrytende arbeid påviste at superledende stoffer ikke bare fantes innafor metalliske elementer og legeringer av slike, men også innafor oksider. Disse resultatene førte til at vi i de ti åra som er gått, har opplevd en av de mest begivenhetsrike perioder innafor faststoffysikken. Ikke mindre enn 50 000 artikler er kommet innafor dette området, og den kritiske temperaturen for superledning er blitt flyttet oppover mot romtemperatur med stormskritt. Den kjente BCS-teorien for "vanlig" superledning forutsetter at superstrømførerne er elektronpar med like store, men motsatte spinn og vinkelmoment, bundet

sammen av en sær elektron-fonon vekselvirkning, såkalte Cooper-par. Fononer er kvanteuttrykket for termiske svingninger i krystaller, og en kan da lett tenke seg at når krystaller varmes opp, fører dette til slutt til så store "rystelser" at de river i stykker elektronenes glatte samkjørte dans mellom atommønstreet i krystallen.

Trollmannen Alex Müller hadde også denne gangen noen virkelige overraskelser i ermet i det han fortalte om store oksygen-isotopeffekter i noen superledende magnetiske oksider, stadig innafor perovskitt-materialer. Ved å skifte ut den vanlige isotopen ¹⁶O med ¹⁸O, fant de at den tilsynelatende massen til strømbærerne også øket. Oksygenatomene måtte derfor på ett eller annet vis være knyttet til strømbærerne. Han kuttet faktisk elektronene helt ut og mente at superstrømbærerne for dette stoffet egentlig var samkjørte Jahn Teller-polaroner og ikke Cooperpar-elektroner! Hvis dette viser seg å holde stikk, innebærer det igjen en ny revolusjonerende vending innafor superledning. Mange skarpskodde teoretikere ligger allerede i løypa for å utvikle fysiske forklaringsmodeller etter dette opplegget, så tampen brenner for en ny nobelpris, både for Müller og den som gir forklaringa.

Han hadde også sett en annen effekt av å bytte ut oksygenisotoper, nemlig på en ferromagnetisk perovskitt med stor magnetomotstandseffekt, $\text{La}_{0.8}\text{Ca}_{0.2}\text{MnO}_{3+y}$. Her virket utskiftingen med den tyngre oksygenisotopen dramatisk inn på den ferromagnetiske kritiske temperaturen T_c . Den endret seg med 21 K til lavere temperatur og tilbake igjen, når den lette isotopen ble tilført. I dette materialet kunne magnetomotstandseffekten derfor ha noe å gjøre med Jahn Teller-polaroner.



Figur 2. De godt innpakke professorene Alex Müller, Keith McEwen og Uschi Steigenberger gleder seg til sledetur gjennom Geilo-natta. Bak i sleden skimter vi også professor S. Sachdev.

Et godt sosialt miljø

Som vanlig var den sosiale atmosfæren usedvanlig hyggelig med daglige skiturer når ikke vinden var for sterk. I midthelga ble det både arrangert tur med tog og buss over Flåm – Aurlandsdalen, og skitur fra Ustaoset tilbake til Geilo. En kveld etter middag var vi på sledetur gjennom Geilo til et folkemuseum der det var folkedans til toraderspill mens kometen Hale Bopp lyste sterkt på den vårblå nordvesthimmelen (se figur 2). Et populært samlingssted om kvelden var badstua, særlig den ute på tunet i nærheten av det tilfrosne svømmebassenget. Men isen var ingen hindring for tiltakslystne fysikere: Et stort hull ble hogd ut og ble et populært avkjølingssted der $\Delta T = 100\text{ K}$! Hullet fikk forresten navnet "the Jug-hole" etter opphavsmannen.



Figur 3. Professor Arne Skjeltorp viser Aud Riste en radering med Hallingskarv-motiv og en minneplate som skal få permanent plassering i forelesningssalen på Bardøla Høyfjellshotell.

Minnestund for Tormod Riste

På avslutningsfesten mintes vi pionerene Gerd Jarrett og Tormod Riste med å avduke et bilde med en minnetavle som skal settes opp i auditoriet på Bardøla Høyfjellshotell. Aud Riste var også til stede de siste dagene og takket på vegne av familien (se figur 3).

Olav Steinsvoll

∞

Bokomtale

Denis Brian: Einstein, A Life. John Wiley & Sons, 1996 (509 sider) £18,99.

Den menneskelige Albert Einstein

Mannen som skapte den generelle relativitetsteori var uten tvil vårt århundres største fysiker. Tiden var egentlig moden for den mer spesielle relativitetsteorien, og den teorien ville nok blitt utviklet selv uten Einsteins arbeid fra 1905. Både Lorentz, Fitzgerald og Poincaré hadde brukbare ideer. Men det ble altså Einsteins geniale intuisjon som fant den rette angrepsmåten for problemene med tid og rom. Einstein tok også del i utviklingen av kvantemekanikken for problemene på det atomære området. Her var han bare en av de mange pionérer. Men det var Einstein og han alene, som utviklet den nye teorien for gravitasjon, der tyngdekraft blir erstattet av krumning på strukturen for tid og rom.

Einstein ble en legende, og hysteriske pressefolk var en plage for han. Det ble selvfølgelig skrevet mange biografier om han, selv om kvaliteten kan være svært så varierende. Nå foreligger sannelig enda en biografi. Den heter "Einstein: A Life," og er skrevet av Denis Brian. En kan da spørre om forfatteren egentlig kan ha noe nytt å komme med. Og det har han virkelig, for nye opplysninger om Einstein er blitt tilgjengelige i de senere år. Den gode vennen Otto Nathan og den lojale sekretæren Helen Dukas beskyttet nemlig Einsteins gode navn og rykte ved å hindre fri adgang til Einstein-arkivene. De visste så altfor godt at det vrir av folk som elsker kringel og spetakkel og tar alt i den verste mening. Disse menneskene går sjelden av veien for å konstruere skandaler, dersom de ikke finner noe konkret. Nå er både Nathan og Dukas borte, og avsløringene kan vel følgelig ta til.

Men la det være sagt med en gang at sensasjonslystne mennesker har ganske lite å hente i denne biografien. Denis Brian har nemlig folkeskikk, og han vet å behandle stoffet sitt med takt og tone. Dertil er boka utstyrt med et solid noteapparat slik at det oftest er lett å sjekke hvor Brian har anekdotene sine fra. Boka er nemlig tettpakket med detaljerte småhistorier om Einsteins liv, oppfatninger og meninger. Den tar altså slett ikke sikte på å gi noen enkel eller grundig framstilling av Einsteins arbeid på fysikkens område. Den beste *populærvitenskapelige* framstilling av Einsteins gravitasjonsteori

som denne anmelderen vet om, er "A journey into gravity and spacetime" av John Wheeler. En ren vitenskapelig biografi er skrevet en gang for alle. Det er boka til Abraham Pais: "Subtle is the Lord," som er aldeles uovertruffen.

Nå er det ikke slik at Brian skulker unna det vitenskapelige aspektet. Vi får hele tiden vite hva Einstein arbeider med. Men hovedsaken er i grunnen å avsløre mannen bak myten. Og det blir gjort ganske sjarmerende. Her møter vi mannen som ikke legger noen vekt på sitt utseende. Da kona ber han om å skifte til finklær da de venter besøk av celebre gjester, svarer han liketil at han kan jo bare åpne klesskapet, så de kan få hilse på dressene, hvis det er dem de ønsker å betrakte. En kald dag på trikken blir hun også forskrekket da Einstein hutrer i kulda. Hun avslører at han har glemt å ta på undertøy. Høsten 1915 var han særdeles opptatt, for da fullførte han selve mesterverket sitt, den generelle relativitetsteori. Måltidene ble det så som så med. Han kokte alt i den samme kjelen for å spare tid. Stedatteren Margot kom over han mens han kokte suppe og egg sammen i kasserollen. Men han tilstod lystig at han ikke hadde tatt bryet med å fjerne eggeskallet. Det var kanskje ikke så rart at han led av pinefullt fordøyelsesbesvær. Men arbeidet med gravitasjonsteorien skred fram.

Vitenskapsmannen hadde langt fra noe familieliv preget av fred og harmoni. Vi får vite at Albert Einsteins første kjærlighet var Marie Winteler. Hun var datter av en av lærerne ved en skole i Aarau der Einstein forberedte seg for å kunne bli opptatt ved den tekniske høyskolen i Zürich. Einstein losjerte hos den vennlige familien til læreren, og de behandlet han nærmest som en sønn i huset. Einstein fortalte sin egen familie om forholdet, og mor hans har nok vært svært begeistret for Marie. Men de følelsene den unge Albert hadde for Marie, kjølnet snart. Da lot han ganske enkelt være å skrive til henne fra Zürich hvor han da oppholdt seg. Vi vet at Marie tok bruddet svært tungt.

Kvinnen i Einsteins liv ble Mileva Maric, en serbisk medstudent. Men mor til Einstein kunne ikke fordra Mileva, og det ga hun sin sønn og hans utvalgte ganske så klar beskjed om. Det er nå blitt kjent at Albert og Mileva fikk ei datter før de ble gift. Hun ble kalt Lieserl, og Mileva fødte henne i hemmelighet i Serbia. Hva som hendte med Lieserl er svært uklart, men hun må ha blitt overlatt til fremmede. Ikke engang Einsteins nærmeste familie og venner visste om dette barnet. Einstein giftet seg riktignok med Mileva, men datterens skjebne

må ha forgiftet forholdet mellom dem. Kanskje har Einstein som ikke kunne fordra urettferdighet og autoriteter, nærmest inngått ekteskap med Mileva i opposisjonstrang og på trass.

Einstein hadde også en utrolig evne til å konsentrere seg og frigjøre seg fra ytre omstendigheter. Han gjorde grunnleggende arbeid mens han bare hadde en usikker jobb som vikarlærer og ventet spent på om han ville få arbeid som assistent på et patentkontor. Samtidig var Mileva hemmelig gravid, og faren gikk konkurs. Søsteren Maja breidde han rasende for bruddet med Marie Winteler, og Mileva strøk for 2. gang til eksamen og spolerte sine karrieremuligheter.

Senere fikk Mileva og Einstein to sønner. Hans Albert, som var den eldste, ble selv en god vitenskapsmann. Han drev det til å bli professor i ingeniørfag ved Universitetet ved Berkeley i California. Den yngste, Eduard, var også meget begavet, men overordentlig følsom. Han fikk nerveproblemer og endte sine dager som pasient ved et hospital i Sveits. Da Einstein bosatte seg i USA etter at Hitler kom til makten, så han aldri Eduard igjen. Han kunne heller ikke ta med seg sønnen, for amerikansk lovgivning hindret folk med mental sykdom fra å bosette seg i landet.

Einstein ble senere skilt fra Mileva og giftet seg med sin kusine Elsa. I overenskomsten med Mileva ble hun lovet pengene for nobelprisen til underhold – før Einstein hadde fått noen pris!

I biografien er det selvfølgelig mye mer stoff. Her møter vi den fredsommelige pasifisten Einstein som får president Roosevelt til å forstå at muligheten for en tysk atombombe må tas meget alvorlig. Vi møter sosialdemokraten Einstein som avskyr Stalins despoti og støtter den spanske republikken under borgerkrigen der.

Vi får også vite at Einstein hadde samtaler med den landflyktige psykologen Wilhelm Reich. Men vennskapet med den kontroversielle Reich kjølnet nok da Einstein avslørte at orgonskapet bare var en fysisk misforståelse. Einstein avviste heller ikke Velikovsky da han mente å ha belegg for flere av mytene i Det gamle testamente. Einstein påpekte kun høflig at utlegningene til Velikosky stred mot fysikkens lover. Men han var sterkt imot at boka til Velikovsky skulle undertrykkes og svartelistes.

Denis Brian har også hatt adgang til FBI-arkiver. Det er nærmest pinlig å bli kjent med den hysteriske kommunistkrekken til Hoover. Han brukte ressurser på å samle løse rykter og løgner. Han var slett ikke i stand til å fatte at humanisten

Einstein kunne føle sympati med det russiske folk, men samtidig avsky enhver form for diktatur.

Særdeles interessant er det Brian skriver om jøden Einsteins forhold til religion; både til kristendom, jødedom og ateisme, og om Einsteins egen form for gudstro (han var tilhenger av Spinoza).

Men humanisten Einstein kunne også være brutalt ærlig i sine følelser. Ei vakker, ung amerikansk jente som forsvarte rasediskriminering, spurte han: "Hva ville du selv si hvis sønnen din fortalte at han aktet å gifte seg med en negresse?" Einstein svarte: "Jeg ville be om å få møte hans utvalgte. Men hvis sønnen min fortalte at han ville gifte seg med deg, ville jeg sikkert miste både søvn og appetitt."

Henning Knutsen

∞

Trim i FFV

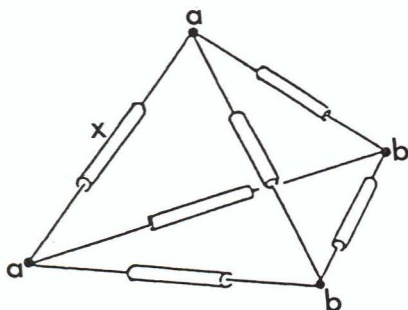
FFVT 2/97

a) Du kaster en handgranat under en vinkel α med horisontalen. For hvilke α vil den hele tiden fjerne seg fra deg?

b) Kan du plassere tallene 0, 1, 2, ... 9 i en sirkel slik at differansen mellom nabotall er 3, 4 eller 5?

Løsning FFVT 1/97

Tetraederet på tegningen er laget av fem motstander hver på 1Ω og én motstand på $x\Omega$ hvis plassering er ukjent. Spørsmålet var om det er mulig at én eneste måling av motstanden mellom to hjørner kan gjøre en i stand til si hva verdien for x er.



Symmetrien gjør at for en gitt x er det tre mulige måleresultater, motstandene R_{aa} , R_{ab} og R_{bb} mellom de angitte hjørnetypene.

Motstanden mellom de to b -hjørnene er $R_{bb} = \frac{1}{2}\Omega$ siden det av symmetrigrunner ikke flyter strøm

gjennom motstanden x , mens de tre parallellkoblede vegene der det flyter strøm har motstandene 1Ω , 2Ω og 2Ω .

De to andre motstandsverdiene R_{ab} og R_{bb} må være monotont økende funksjoner av x . For $x = 0$ får vi de minste verdiene. I dette grensetilfellet er $R_{aa} = 0$, naturligvis, og det er ikke vanskelig å vise at $R_{ab} = \frac{3}{8}\Omega$. I det andre grensetilfellet $x = \infty$ finner vi lett $R_{ab} = \frac{5}{8}\Omega$ og $R_{aa} = 1\Omega$.

Altså ligger R_{aa} alltid i intervallet $(0, 1\Omega)$ og R_{ab} i intervallet $(\frac{3}{8}\Omega, \frac{5}{8}\Omega)$, mens $R_{bb} = \frac{1}{2}\Omega$.

Måles derfor en motstandsverdi som er mindre enn $\frac{3}{8}\Omega$ eller større enn $\frac{5}{8}\Omega$, så er det R_{aa} vi måler, og den ukjente motstanden x forbinder målepunktene! Det er altså mulig at en eneste måling kan gjøre en i stand til å lokalisere den avvikende motstanden.

Å finne motstandsverdien er da en enkel sak fordi det i dette tilfellet ikke går strøm i bb . Motstanden gir seg da som en parallellkopling av $x\Omega$, 2Ω og 2Ω :

$$\frac{1}{R_{aa}} = \frac{1}{x} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2},$$

som gir (i Ω)

$$x = \frac{R_{aa}}{1 - R_{aa}}.$$

∞

Trim i FFV – 3/89

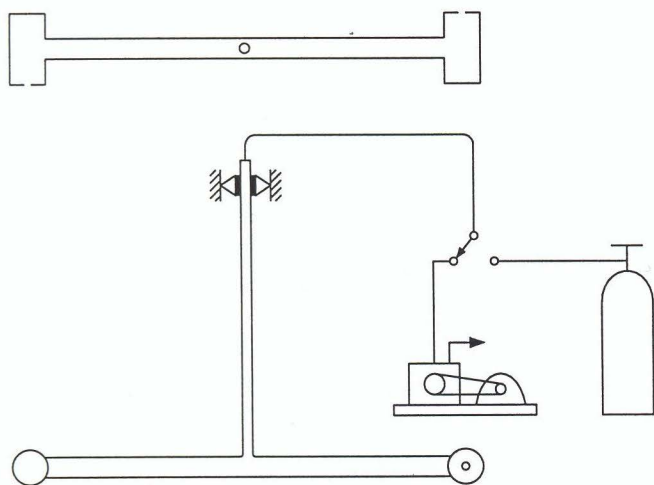
"Når ej klog tør være klar, er det nyttigt med en nar."

Følgende trimoppgave ble gitt i FFV nr. 3, 1989: "Anta at en jernbanevogn som kan bevege seg friksjonsfritt på horisontale skinner står i ro med en stor og noe rusten tank som last. Plutselig oppstår et stort hull bak på tanken. Dersom tanken er fylt med gass under høyt trykk vil vogna bevege seg framover og tilslutt gå med konstant fart. Vil det tilsvarende skje, bare i motsatt retning, dersom det er vakuum inni tanken?"

Løsningen av oppgaven, som ble gitt i FFV nr. 4, 1989, var at "... etter en turbulent overgangsperiode tilsier impulsbevarelsen at vogna står stille til slutt. (Men den har nok forflyttet seg litt bakover)."

Den angitte løsningen førte til tre inlegg i FFV (nr. 1, 1990, nr. 2, 1990 og nr. 4, 1994) hvor

løsningens riktighet ble trukket i tvil. Med støtte i hydrodynamiske beregninger ble det hevdet at vognen ved innstrømning av luft i tanken når den er evakuert ville bli påvirket av en kraft på samme måte som den blir det ved utstrømning hvis det er gass under høyt trykk i tanken. Størrelsen på kraften under innstrømning ble beregnet til omtrent en fjerdedel av kraften under utstrømning ved samme trykkdifferanse. Imidlertid var det uenighet blant kritikerne om kraftretningen under innstrømning. Denne uenigheten har ført til en lang føljetong av innlegg i FFV (nr. 3, 1990, nr. 4, 1990, nr. 1, 1991 og nr. 2, 1995).



Figur 1. Skjematisk diagram av torsjonsvekt. Av symmetri-grunner er to like kamre integrert i torsjonsvekten. Torsjons-tråden og armene som bærer kamrene er rør hvorigjennom trykket kan reguleres.

Etter som oppgaven av oppgavestilleren ble løst ved bruk av impulsbevarelsesloven, avdekket kritikken en tilsynelatende uoverenstemmelse mellom en av fysikkens viktigste grunnsetninger og hydrodynamiske beregningsmetoder under anvendelse på et tilsynelatende enkelt problem. Ifølge fysikkens tradisjon bør en slik uoverenstemmelse avklares empirisk.

For å bidra til dette har jeg simulert tanken og hullet med hhv. et sylindrisk kammer med (lengde×diameter) = (76 mm×16 mm) og et sirkulært hull med diameter = 1 mm (veggtykkelsen ved hullet < 0,5 mm). Trykket i kammeret kunne justeres til en fritt valgt verdi i trykkområdet fra 0,63 atm undertrykk til tilsvarende overtrykk i forhold til atmosfæretrykket. Avhengig av om trykket i kammeret var større eller mindre enn

atmosfæretrykket, oppsto det da en stasjonær gasstrøm gjennom hullet, hhv. inn i eller ut av kammeret. For å kunne måle kraften på kammeret pga. denne gasstrømmen, ble kammeret integrert i en torsjonsvekt med følsomhet bedre enn 0,1 mN (se figur 1).

Ved 0,63 atm overtrykk målte jeg en kraft på kammeret pga. utstrømningen som var lik 66 mN. Ved 0,63 atm undertrykk i kammeret skulle man ifølge kritikernes beregninger vente en kraft på omtrent 15 mN pga. innstrømningen. Da målte jeg imidlertid ingen kraftvirkning på kammeret. Det vil si at en eventuell kraft må være mindre enn torsjonsvektens følsomhet på 0,1 mN.

Konklusjonen er at jeg har ikke vært i stand til å verifisere empirisk resultatene fra de hydrodynamiske beregninger som kritikken mot oppgaveløsningen ble reist på. Alt tyder på at oppgavestilleren har løst oppgaven riktig ved bruk av impulsbevarelsesloven. Det samme gjelder J.S. Høyes hydrodynamiske beregningsløsning i FFV nr. 1, 1991.

Thórarinn Stefánsson

∞

Nye Doktorer

Astrid Aksnes Dyrseth



B.Sc. (Hons.) Astrid Aksnes Dyrseth har tatt graden doktor ingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) med avhandlingen *Anvendelser av video speckle metrologi på biodynamiske systemer*.

Video interferometriske målemetoder kan brukes på dynamiske og biologiske objekter, som f.eks. planter, tømmerstokker og væsker. Ved slike målinger brukes lysets bølgelengde som måleenhet. Teknikkene er ikke-destruktive, og de er følsomme for forflytninger og endringer i brytningsindeks.

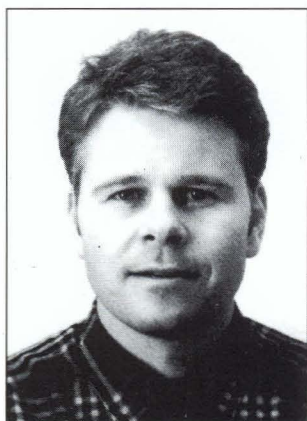
På grunn av endringer i mikrostrukturen og generell ustabilitet, er biologiske organismer vanskelige å måle med interferometriske metoder. Eksperimentene i dette prosjektet er basert på opptak med videokamera, hurtige algoritmer til dataprosesering, bildebehandling og dataanalyse. For å optimalisere resultatene er forskjellige lasertyper vurdert. Det er vist at video interferometriske metoder kan brukes til å måle ekstremt små lokale deformasjoner av biologisk overflatevev, til å bestemme elastisitetsmodulen og skjærmodulen av tømmerstokker ved hjelp av vibrasjonsanalyse, og til å studere væsketransport. Små bevegelser som bl.a. skyldes at objektet er i vekst, er målt. Teknikken har potensiale for anvendelser i biologi, biomedisin og fluidmekanikk.

Forskningsarbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Ole Johan Løkberg som hovedveileder og professor Hans Magne Pedersen som medveileder.

Astrid Aksnes Dyrseth ble utdannet B.Sc. (Hons.) ved University of Glasgow i 1986. Hun er ansatt som forsker ved SINTEF Elektronikk og kybernetikk.

∞

Kjetil Folgerø



Cand.scient. Kjetil Folgerø disputerte 7. mars 1997 for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen med avhandlingen *Coaxial sensors for broad-band complex permittivity measurements of petroleum fluids*.

Folgerøs avhandling tar for seg utvikling av målemetoder og instrumentering for bestemmelse av oljers dielektriske spektre over et bredt frekvensområde. Disse spektrene kan siden anvendes for å karakterisere oljenes kvalitet. Petroleumsindustrien har etterlyst robuste måleinstrumenter for overvåking av kvaliteten til oljeprodukter, og Folgerøs arbeid viser at dielektrisk spektroskopi er en mulig teknikk for dette formålet.

Oljer har lav dielektrisitetskonstant, lavt dielektrisk tap og dispersjonen foregår over et bredt frekvensområde. Mellom oljer av ulik kvalitet er det bare små forskjeller i permittivitet, slik at sensorer for permittivitetsbestemmelse må dekke et bredt frekvensområde og ha høy presisjon. Folgerø har konsentrert seg om utvikling og optimalisering av slike sensorer. I avhandlingen er bl.a. beskrevet en sensor som kan benyttes fra 1 kHz til 10 GHz. Oljen som skal måles plasseres mellom inner- og ytterleder i en del av en koaksial transmisjonslinje, og permittiviteten bestemmes ved å måle transmisjonslinjens refleksjons- og transmisjonskoeffisienter. En høyfrekvent sensor som kan monteres i en rørvegg uten å forstyrre strømmingen i røret, er også studert. Denne sensoren kan betraktes som en avkuttet koaksialkabel som plasseres mot testmediet. Permittiviteten bestemmes ved å måle refleksjonskoeffisienten i grensesjiktet mellom sensoren og testmediet.

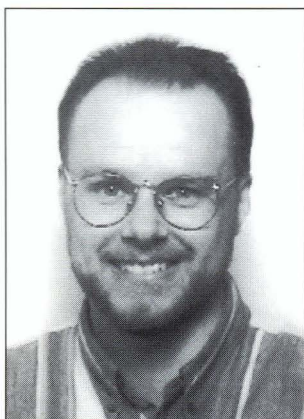
Tre ulike anvendelser av sensorer som er av interesse for petroleumsindustrien, er vurdert: 1. Karakterisering av kvaliteten til råoljer og petroleumsfraksjoner. 2. Overvåking av dannelse av gasshydrater i vann-i-olje emulsjoner med ikke-inntrengende sensorer. 3. Måling av vanninnholdet i tynne væskelag.

Folgerøs doktorarbeid ble utført ved Christian Michelsen Research i Bergen, og har vært støttet av Norges forskningsråd, Statoil og Norsk Hydro.

Kjetil Folgerø ble utdannet cand.scient. i instrumentering og elektronikk ved Fysisk institutt ved Universitetet i Bergen i 1990. Under doktorgradstudiet var han ansatt som høgskolelektor ved avdeling for ingeniørfag, Høgskolen Stord/Haugesund. Folgerø arbeider nå som forsker innen mikrobølge-teknologi ved Nera Research i Bergen.

∞

Ola Engelsen



M.Sc. Ola Engelsen har tatt dr.scient.-graden ved Universitetet i Tromsø med avhandlingen *An investigation of the coupled surface- atmosphere radiative transfer problem of remote sensing in the visible and near-infrared spectral bands and its inversion*. Avhandlingen tar for seg strålingstransportmodellering og anvendelser av denne for forbedret utnyttelse av optiske satellitt- og bakkebaserte jordobservasjonsdata.

Analyse av optiske jordobservasjonsdata i den synlige og den nære infrarøde delen av spekteret målt av instrumenter plassert på bakken eller i verdensrommet, er problemfylt fordi strålingen som måles vanligvis er påvirket av både jordoverflaten og atmosfæren. Engelsens doktorgradsarbeid har fokusert på nye og forbedrede løsninger av problemer knyttet til bestemmelse av de optiske egenskapene til jordoverflaten og atmosfæren gjennom inversjon av koplede strålingstransportmodeller. Modellene beskriver all stråling og dens vekselvirkning med disse to mediene. Anvendelser for deteksjon av gitte jordoverflatetyper i satellittbilder er også demonstrert. Løsningene er spesielt aktuelle for data fra en ny generasjon av optiske satellittsensorer som vil bli skutt opp av ESA og NASA i de nærmeste årene.

Doktorgradsarbeidet er utført ved Space Applications Institute, EC Joint Research Centre i Ispra, Italia, og ved Norut Informasjonsteknologi A/S i Tromsø, og til dels i samarbeid med Multiangle Imaging Spectroradiometer (MISR) Science Team ved Jet Propulsion Laboratory i California, USA. Studiet er finansiert av Norges forskningsråd.

Engelsen ble utdannet sivilingeniør i elektronikk ved University of Strathclyde i Glasgow i 1989, og i 1991 tok han graden M.Sc. ved University of Washington i Seattle, USA. Han er nå ansatt som forsker

ved gruppen for jordobservasjon ved Norut Informasjonsteknologi A/S, i Tromsø.

∞

Einar Halvorsen



Sivilingeniør Einar Halvorsen har tatt graden doktor ingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) med avhandlingen *Correlated fermions from infinite to finite dimensions*.

Vekselvirkningene mellom elektronene i et fast stoff er i mange tilfeller så avgjørende for dets egenskaper at de ikke kan neglisjeres selv i en sterkt forenklet teoretisk modell for materialet. Siden eksakte beregninger for en slik modell av et vekselvirkende mangepartikkelsystem ikke er gjennomførbare i realistiske tre dimensjoner, har systematiske tilnærmingsmetoder uvurderlig betydning. Grensen for et uendelig stort antall romlige dimensjoner har i de senere år vist seg nyttig for å lage en forenklet teori for vekselvirkende elektroner i faste stoffer som antas å ha mange av de vesentligste egenskapene til det tilsvarende tredimensjonale systemet.

Halvorsens doktorgradsarbeid tar for seg det magnetiske fasediagrammet til to sentrale modeller for korrelerte elektronsystemer i uendelig mange dimensjoner, og gyldigheten av tilnærminger som en kunne tenke seg å anvende også i lave dimensjoner. På noen spesielt utvalgte modeller som er eksakt løsbare i uendelige dimensjoner, studeres muligheten for å inkludere korreksjoner til den forenklete teorien, slik at både kvalitative og kvantitative forutsigelser for lave dimensjoner kan gjøres. Det pekes på enkelte viktige prinsipielle begrensninger i hvordan korreksjoner kan inkluderes, og det gis eksempler på tilfeller der de gir gode kvantitative estimater for endelig-dimensjonale systemer.

Arbeidet har bidratt til forståelsen av i hvilken grad metoden er i stand til å beskrive endelig-dimensjonale systemer og hvordan dette i tilfelle kan gjøres.

Prosjektet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Koung-An Chao som hovedfaglærer.

Einar Halvorsen ble utdannet sivilingeniør ved Fakultet for elektro- og datateknikk, Norges tekniske høgskole, i 1991. Han er for tiden NFR post doc stipendiat ved Universitetet i Oslo.

∞

Hans Martin Helset



Sivilingeniør Hans Martin Helset disputerte den 8. august 1996 for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen, med avhandlingen *Three-Phase Flow and Capillarity in Porous Media*.

Forståelse av flerfasestrøm i porøse media er viktig i forbindelse med utvinning av olje. En samtidig strøm av tre faser finner sted i ulike utvinningsprosesser, f.eks. ved kombinert vann- og gassinjeksjon. Økt forståelse er derfor nødvendig for å analysere reservoarets oppførsel og evaluere utvinningsstrategier.

Helset har studert strømningsligningene for tre-fasestrøm med kapillartrykk inkludert. Analytiske og numeriske metoder er benyttet. Resultatene er så blitt anvendt på ulike problemer: analyse av stabile fortrenningsfronter i kombinert vann/gass injeksjon, sekundær migrasjon av hydrokarboner med spesiell vekt på akkumulasjon av olje og gass ved barrierer, og til sist utvikling av metoder for eksperimentell bestemmelse av tofase og trefase relative permeabiliteter med kapillartrykk inkludert.

Helsets doktorgrad er resultatet av et nært samarbeid mellom Høgskolen i Stavanger og Roga-

landsforskning. Veiledningskomiteen bestod av professor Svein M. Skjæveland (HiS), dr. George Virnovsky (RF), og dr. Jan-Erik Nordtvedt (RF). Deler av arbeidet er utført under et opphold ved The University of Texas. Doktorgradsstipendiet ble finansiert av Norges forskningsråd.

Hans Martin Helset ble utdannet sivilingeniør ved Fakultet for fysikk og matematikk, NTH, i 1993. Han er nå ansatt som forsker ved Rogalandsforskning i Stavanger.

∞

Børge Holme



Cand.scient. Børge Holme disputerte 12. desember 1996 for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo, med avhandlingen *Structures in Reduced Magnetite – an Investigation into the Porous Iron Ammonia Synthesis Catalyst*.

Jernkatalysatoren som brukes ved fremstilling av ammoniakk i Haber-Bosch-prosessen har forandret seg lite siden den ble tatt i bruk i begynnelsen av dette århundret. For å få en effektiv katalysator, ønsker man en stor spesifikk overflate. Dette oppnås ved å redusere magnetitt, Fe_3O_4 , til porøst jern. Til tross for langvarig forskning på denne katalysatoren, har dens poregeometri ikke vært godt beskrevet tidligere.

Ved kombinert bruk av lysmikroskopi og elektronmikroskopi, har Børge Holme studert porestrukturen i ammoniakksyntese-katalysatoren på lengdeskalaer fra millimeter til nanometer. Doktoranden har systematisert og beskrevet en rekke ulike "strukturer", som er områder der det porøse jernet har bestemte poreorienteringer. Holme oppdaget ved en tilfeldighet at slike områder fremtrer i klare farger når katalysatoren blir studert i et lysmikroskop med polarisert lys. I noen strukturer

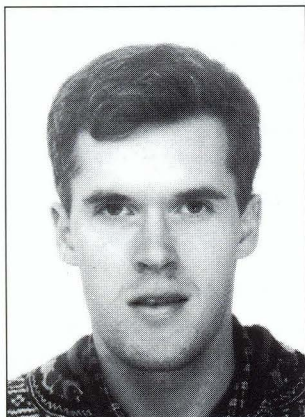
foreligger jernkrystallene som tynne flak, 15–50 nm brede. Disse flakene kan observeres i et transmisjonselektronmikroskop, og Holme har bestemt flakenes retning og den krystallografiske orienteringen av jernet i de ulike strukturene.

Eksperimenter gjort i samarbeid med Norsk Hydro sitt forskningssenter i Porsgrunn, viser at man kan påvirke forekomsten av ulike strukturer gjennom måten katalysatoren blir fremstilt på. Holme foreslår en generell modell som angir atomenes bevegelser under fremstillingsprosessen og som forsøker å forklare hvordan de spesielle porestrukturene oppstår.

Doktorgradsstudiene er utført ved Senter for materialvitenskap, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, med Professor Johan Taftø som veileder. Studiene ble finansiert av Norges forskningsråd (3 år) og Fysisk institutt (1 år). Holme vil arbeide for Norsk Hydro det første halve året etter disputasen for å undersøke nærmere hvilken betydning hans oppdagelser kan ha for ammoniakkindustrien.

∞

Ulf E. Hvam Laheld



Sivilingeniør Ulf E. Hvam Laheld disputerte 30. januar 1997 for dr.ing.-graden ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet med avhandlingen *Semiconductor Heterostructures: Electronic and Optical Properties*.

Avhandlingen omfatter teoretiske undersøkelser av elektroniske og optiske egenskaper til halvleder heterostrukturer. Molekylstråle-epitaksi (MBE) har muliggjort nærmest rutineproduksjon av lagdelte halvlederstrukturer – supergittere og kvantebrønner – med så godt som perfekte grenseflater. Den begrensede dimensjonaliteten gir opphav til markante fysiske effekter.

Senere teknologiske fremskritt (røntgen-, elektronstråle-, og ionestråle-litografi) har gjort det mulig å fabrikere mikrostrukturer med enda mer begrenset dimensjonalitet. Elektroner i en kvantebrønn har begrenset bevegelse i en retning, elektroner i en kvantetråd har begrenset bevegelse i to retninger, elektroner i en kvanteprikk har begrenset bevegelse i samtlige tre retninger.

På grunn av de store potensielle anvendelsesmulighetene i elektronikk, er disse materialene blitt viet stor oppmerksomhet. Kvantebrenner benyttes allerede kommersielt for laserdioder som finnes i compactdisc-spillere.

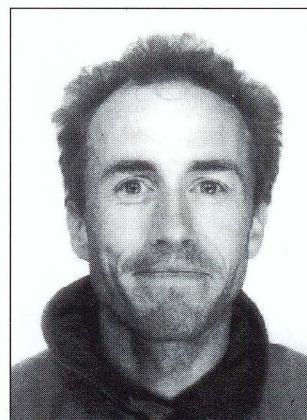
I avhandlingen er en rekke nye strukturer blitt undersøkt teoretisk, bl.a. type-II og type-I₂ kvanteprikker. Eksperimentelle observasjoner som har vært vanskelig å forklare, f.eks. energispektra fra CdSe kvanteprikker og bindingsmekanismer i GaP:N, er beregnet. I tillegg er rene teoretiske problemer med store praktiske konsekvenser blitt undersøkt. Et eksempel er matching av effektivmasse bølgefunksjoner over grenseflater mellom ulike halvledermaterialer.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU med professor Per Chr. Hemmer som hovedfagærer.

Ulf E. Hvam Laheld ble utdannet siv.ing. ved Fakultet for fysikk og matematikk, NTH, i 1993, og bedriftsøkonom ved BI i 1988.

∞

Knut Brede Liland



Cand.scient. Knut Brede Liland har forsvart sin avhandling *Transient evolution of low pressure glow discharges with application to discharge lamps*, for dr.scient.-graden ved Universitetet i Tromsø, og

for graden Docteur de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, Frankrike.

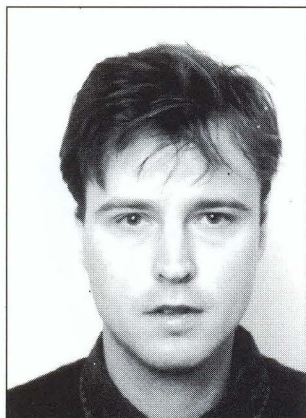
Liland har studert gassutladninger i lamper, og har gjort numeriske beregninger av startfasen fra "breakdown" til stabil gløding. Både elektron- og ionetettheten er studert sammen med det elektriske feltet, som funksjon av tiden. Elektrodematerialet, gasstrykket, den eksterne elektriske kretsen og spenningen er variert i tillegg til initialtettheten til de ladede partiklene. Beregningene er utført ved Centre de Physique des Plasmas et de leurs Applications de Toulouse som er knyttet til l'Université Paul Sabatier i Toulouse.

Liland presenterer tre typer av lampeeksperiment (High Intensity Discharges) som ble utført hos Philips Lighting i Eindhoven i Holland, og de eksperimentelle resultatene for "breakdown", "glow" og transmisjon til en "thermionic arc" er sammenliknet med de numeriske modellene. For glødefasen er det god overensstemmelse for lave gasstrykk inntil 50 torr. For de andre eksperimentene viser modellene et korrekt bilde av trendene og størrelsesordenene.

Knut Brede Liland er cand.scient. i plasmafysikk fra Universitetet i Tromsø. Under doktorgradsarbeidet har han vært stipendiat ved Centre de Physique des Plasmas et leurs Applications de Toulouse, med finansiering fra ELF Aquitaine Norge og Philips Lighting, Holland.

∞

Jan Erik Øvrebø Olsen



Sivilingeniør Jan Erik Øvrebø Olsen har tatt graden doktor ingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) med avhandlingen *Teoretisk analyse av opprullingsmekanikk*.

Spenninger som bygger seg opp i en papirrull under opprulling er avgjørende for dannelsen av de-

fekter i rullen som kan overføres til rynker, revner og andre feil i aviser og tidsskrifter.

Olsen har studert effekten av sentrifugalkrefter ved hjelp av en matematisk modell som beskriver opprullingsprosessen. Han har også kommet frem til matematiske sammenhenger for komplekse opprullingsmaskiner, såkalte bærevalsemaskiner, som kan benyttes i beskrivelser av opprullingsprosessen.

Prosjektet er utført ved Institutt for mekanikk, termo- og fluiddynamikk, NTNU, med førsteamanuensis Fridtjov Irgens som hovedveileder.

Jan Erik Øvrebø Olsen ble utdannet sivilingeniør ved Fakultet for fysikk og matematikk, Norges tekniske høgskole, i 1992.

∞

Hva skjer

Seminar i petroleumsfysikk

Seminalet vil bli holdt på Strand Hotel Fevik, 21-23. august, 1997. Hotellet ligger ca. 1 mil sør for Arendal. En kan ta tog til Arendal og buss videre, eller en kan fly til Kjevik og ta flybuss til Arendal. Den stopper ved hotellet.

Foreløpig tidsplan:

Påmelding snarest.

Registrering 21/8 kl. 14.00, og møtestart kl 16.00. Avslutning 23/8 ca. kl. 13.00.

Priser med full pensjon:

845 kr pr. døgn i enkeltrom, og 695 kr i dobbelt.

Medfølgende personer: 495 kr pr. døgn når deltaker betaler enkeltromspris.

Deltakeravgift:

200 kr for studenter, 600 kr for tilsatte ved univ., høgs. og forskningsinst., 1000 kr for industritilsatte. Det blir gitt økonomisk støtte til alle studenter.

Inviterte foredragsholdere og foreløpige titler:

Daniel Bideau, GMCM, Université de Rennes 1: *Granular Flow and segregation*.

Henri van Damme, CRNS, Orleans: *Flow in porous media*.

James Howard, Philips Res. Center, Oklahoma: *Wettability Measurements by NMR-Techniques - An Example of Linking Laboratory Results to Field Applications*.

Manfred G. Prammer, NUMAR, Pennsylvania:
NMR Applied in Well Logging.

John H. Strange, Phys. Dept., Univ. Kent:
NMR-Techniques used in Research on Fluid Flow in Porous Media.

Kontaktperson:

Mary Byberg, IFE, Boks 40, 2007 Kjeller.
Tlf. 63806075, fax 63810920, e-mail: fysikk@ife.no

∞

Nytt fra NFS

Årsmeldingen på Internett

Årsmeldingen vil bli lagt ut på vår hjemmeside i god tid før Fysikermøtet i Stavanger, 23–25. juni.

Se: <http://www.fys.uio.no/~tovesv/nfs.htm>

∞

Nye medlemmer:

Else Alvik
Ole Bygdevекtersvei 7, 1430 Ås

Dag Antonsen
Malvik v.g.s. Pb. 23, 7560 Vikhamar

Thor Bakke
Inst. f. fysikalsk elektronikk, NTNU, 7034 Trondheim

Anne Karin Bondhus
Tinngate 63, 3660 Rjukan

Knut Arne Børresen
Gullstølstien 148, 5062 Bergen

Alain Ferber
Kirkevn. 73 D, 1344 Haslum

Gjermund Mamen Haugen
Rom 8347, Sogn studentby, 0858 Oslo

Geir Bjarte Havsgård
FFIE, Pb. 25, 2007 Kjeller

Jan Hov
Märthasgt. 7, 8004 Bodø

Arne Huse
Storgt. 70, 2200 Kongsvinger

Ib-Rune Johansen
Solligrenda 89, 0491 Oslo

Klaus Anders Karlson
Ullevålsveien 111 A, 0359 Oslo

Kristin Klepsvik
FFI - våpen og materiell, 2007 Kjeller

Bjørn Tore Haugan Knudsen
Fysisk inst. UiB, Allégt. 55, 5007 Bergen

Ulf Rikard Kristiansen
Inst. f. teleteknikk/akustikk, NTNU, 7034 Trondheim

Kjell Kråkenes
Betzy Kjeldsbergsv. 18 D, 0486 Oslo

Stig Landrø
Fr. Nansensv. 3, 1477 Fjellhamar

Ove Lyngnes
Lomviveien 53, 4046 Hafrsfjord

Elin Melby
Fysisk inst. UiO, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

Jan Erik Michelsen
Erlandstuveien 1, 1178 Oslo

Ann Rigmor Nerheim
Fagerflåteveien 10, 4017 Stavanger

Odd Olsen
Pb. 416 Sentrum, 7001 Trondheim

Tore Ottinsen
Hellerud v.g.s., Pb. 15 Tveita, 0671 Oslo

Thampipillai Raveenthiran
Sjøvegan v.g.s., 9350 Sjøvegan

Kristine Rekdal
Patentstyret, Pb. 8160-Dep, 0033 Oslo

Rolf Rustad
Jonsvannsvn. 87 C, 7035 Trondheim

Anette Røhmen
Kongsberg Aerospace, Pb. 26, 2007 Kjeller

Erlend Rønnekleiv
Sigurd Jorsalfarsv. 23 B, 7017 Trondheim

Tone Schanke
Ullernkammen 17, 0382 Oslo

Sebastian Schmidt
Drømtorp v.g.s., Pb. 1323, 1401 Ski

Øyvind Sjøvik
Eilert Sundtsgt. 19, 0259 Oslo

Helge Steen
FFIE, Pb. 25, 2007 Kjeller

Bjørn Torger Stokke
Institutt for fysikk, NTNU, 7034 Trondheim

Karl Kristian Taraldsen
Ringveien 4, 1450 Nesoddtangen

Elisabeth Tonheim
Gamle Tanumsvei 7, 1312 Slepender

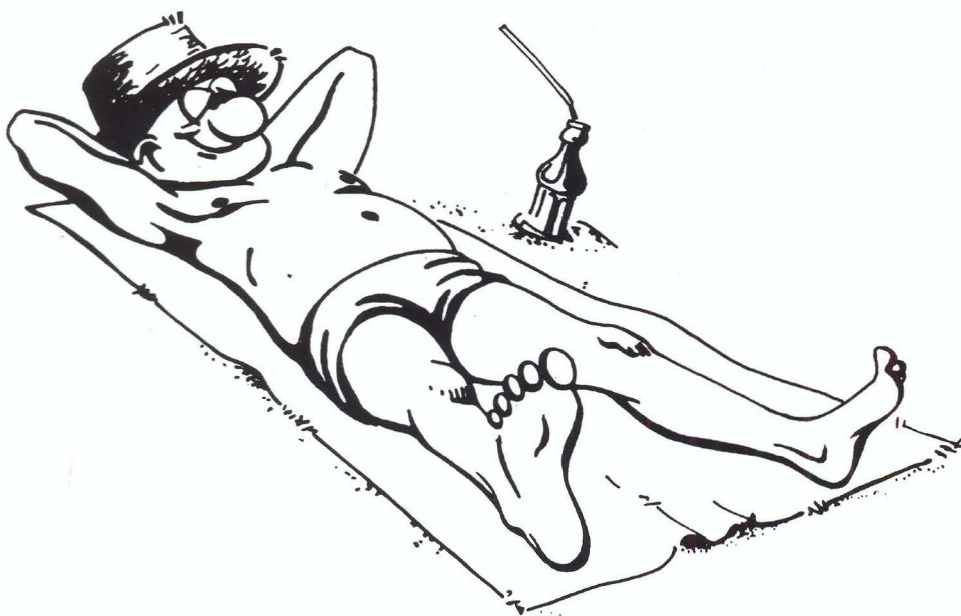
Jon Tschudi
SINTEF el. & kyb., Pb. 124 Blindern, 0314 Oslo

Torgunn Wøien
Landfalløya 54, 3023 Drammen

Dan Østling
Nidarøyggt. 8, 7030 Trondheim

Heidi Bruvoll Aaserud
Fysisk institutt, UiO, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo

∞



God sommer!

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:

Professor Thormod Henriksen,
Fysisk inst., Univ. Oslo.
E-post: thormod @fys.uio.no

Visepresident:

Professor Erlend Østgaard,
Fysisk inst., NTNU (AVH), Trondheim.

Styremedlemmer:

Stipendiat Leni Grant,
Nordlysobs., Univ. Tromsø.

Professor Anne Grete Frødesen,
Fysisk inst., Univ. Bergen.

Førsteamanuensis Anders Isnes,
ILS, Univ. Oslo.

Selskapets sekretær:

Stipendiat Tove Svendby,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 56 41, Fax.: 22 85 56 71
E-mail: tove.svendby@fys.uio.no
Postgiro: 0802 5883889
Bankgiro: 5102.05.42806

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:

Professor Øivin Holter,
Professor Finn Ingebretsen,
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Redaksjonssekretær:

Overingeniør Karl Måseide,
Fysisk inst., Univ. Oslo.

Redaksjonskomité:

Professor Noralf Bjørnå,
Inst. f. mat. realfag, Univ. Tromsø.

Professor Anne Grete Frødesen,
Fysisk inst., Univ. Bergen.

Lektor Ingerid Hiis Helstrup,
Langhaugen skole, Bergen.

Professor Per Chr. Hemmer,
Inst. f. fys., NTHU (NTH), Trondheim.

Professor Egil Leer,
Inst. f. teor. astrofys., Univ. Oslo.

Ekspedisjonens adresse:

Fra Fysikkens Verden,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 28
Fax.: 22 85 56 71 / 22 85 64 22
E-post:
oivin.holter@fys.uio.no
finn.ingebretsen@fys.uio.no
karl.maseide@fys.uio.no
Postgiro: 0807 5104724
Bankgiro: 6094.05.40227

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement kan tegnes fra ekspedisjonen.
Årsabonnement 100 kr. (Studenter 50 kr.)
Løssalg 30 kr. pr. nummer.