Fra Fysikkens Verden

Nr. 1 – 2001
63. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

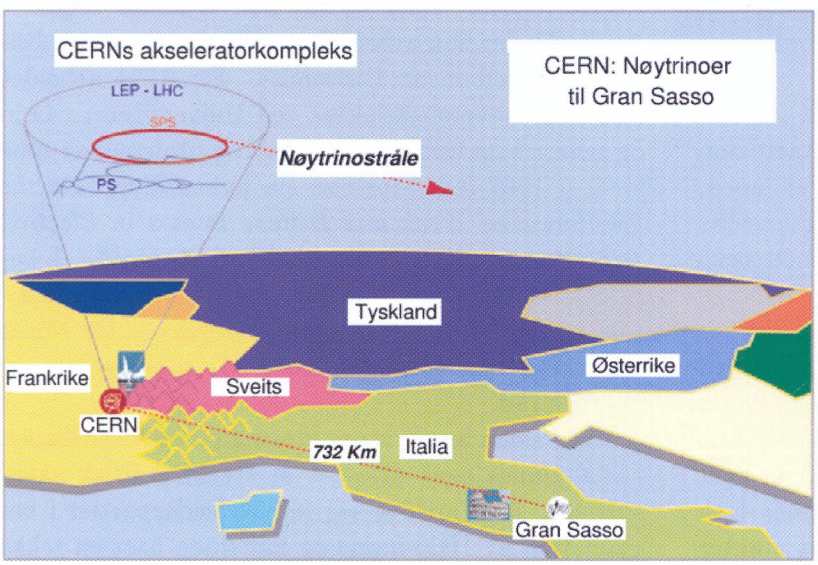
Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Lars Bugge og Farid Ould-Saada:
Tau-nøytrinoet 5
Øyvind Grøn:
Kvintessens – Universets vakuumenergi 9
Reidun Renstrøm:
Kvanteteoriens utvikling – Plancks energielementer 14
Fra Redaktørene 2
FFV Gratulerer 2
Jon Gjønnes
In Memoriam 4
Bertel Grimeland
Indeks 2000 17
Fysikknytt 21
Lys kan stoppast
Fra Fysikkens Historie. 22
Kjernefysikk i Norge
Kommentar 24
Treghetskrefter i Sofies verden
Bokomtaler 25
Trim i FFV 28
Nye Doktorer 29
Dr.scient. Lisa Henden
Dr.scient. Anne Holt
Dr.scient. Jan Kocbach
Dr.scient. Odd Harald Odland
Dr.scient. Are Strandlie
Dr.scient. Christina Søyland
Dr.scient. Trond Morten Thorseth
Dr.scient. Frode Westvold
Nytt fra NFS 33
Fysikermøtet 2001 • Årsmøtet 2001 • Støtte til deltakelse • Priser til utdeling • Nye medlemmer • Påmelding til Fysikermøtet

ISSN-0015-9247



Det foreslåtte CERN-Gran Sasso nøytrinoprosjektet.
(se artikkel om tau-nøytrinoet)

Fra Redaktørene

Noen har en gang sagt at politikk er storskala sosioøkonomisk eksperimentering. Som i alle fornuftige eksperimenter, burde det også her kreves maksimal innsikt og planlegging. For å få denne innsikten, er det avgjørende at den beste ekspertise benyttes – der hvor den finnes.

Imidlertid trenger man neppe å være spesialist for å innse at dagens forskningspolitikk – i den grad den eksisterer – representerer et lite vellykket eksperiment. Ett av motivene for dagens prioriteringer er uttrykt i slagordet: "Mer forskning pr. krone." Men det er ikke vanskelig å registrere at det som nå skjer ved universitetene – og for så vidt i hele undervisningssektoren – åpenbart gir mindre forskning og undervisning pr. krone.

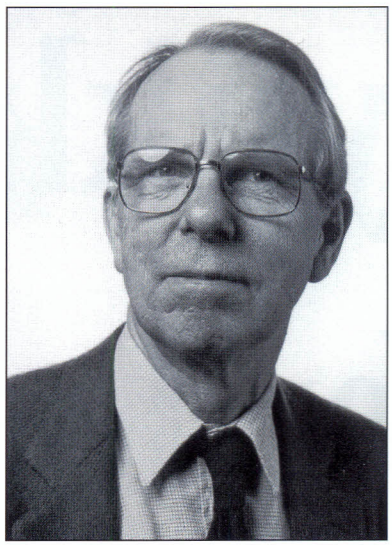
Som et ledd i dagens "nytenkning" er "omstilling" formulert som en overordnet målsetning. Samtidig som bevilgninger krympes, blir store deler av midlene øremerket til nettopp – omstilling. I våre miljøer betyr det at pågående aktiv forsknings- og fagforvaltningsvirksomhet skrumper inn, og resultatet lar ikke vente på seg; frustrasjon og manglende motivasjon brer seg blant de ansatte, og unge begavelser velger å søke seg bort fra universitetene. Skylden for den nærmest totale mangel på kommunikasjon mellom de faglige og de politiske miljøene, legger vi uten å blunke på politikerne. Når ble for eksempel noen av våre mest framtredende vitenskapsfolk invitert til rådgiving og meningsutveksling på samme måten som finansministeren gjorde med rikets mest framtredende økonomer?

Forskningsrådet ser også ut til å ha falt for omstillingsfilosofien. Her gis det midler til å starte opp virksomheter, om ikke mange, så i alle fall noen. Men når fagmiljøet så er godt i gang og er blitt produktivt, tørker bevilgningene, og dermed også aktiviteten, inn på omstillingens alter. I vår lange fartstid ved Universitetet i Oslo kan vi ikke erindre at det, for den enkelte forskningsgruppe, er gått med så mye tid til å "støvsuge" omverdenen for å hente inn de nødvendige midler til den faglige virksomhet. Og selv om vi ikke er økonomer, har også vi hørt om faste og variable kostnader. Nå befinner hele vår sektor seg i en situasjon der den knapt makter de faste kostnader, og de fleste kan gjette hvor mye forskning det da blir pr. krone.

∞

FFV Gratulerer

Jon Gjønnes 70 år



Professor Jon Gjønnes ved Universitetet i Oslo fylte 70 år den 26. januar i år. Han ble født i Brevik, studerte ved Universitetet i Oslo og ble cand.real. med fysikk hovedfag i 1957. I årene 1956–59 arbeidet han ved Sentralinstituttet for industriell forskning (SI) i Oslo (det nåværende SINTEF-Oslo). 1959–61 var han NTNF-stipendiat ved CSIRO's Chemical Research Laboratories i Melbourne i Australia. I årene 1961–64 var han universitetsstipendiat ved Universitetet i Oslo. 1963–64 var Jon Gjønnes tilbake i Australia der han arbeidet som Senior Research Fellow ved Melbourne University. Fra 1965 arbeidet han som universitetslektor ved Universitetet i Oslo og senere som førsteamanuensis og professor samme sted. I 1967 forsvarte han sin avhandling *"On the Treatment of Weak and Diffuse Beams in Electron Diffraction"* for den filosofiske doktorgrad. I perioden 1970–72 var han bestyrer ved Fysisk institutt. 1976–77 var Jon Gjønnes formann for Norsk Fysikkråd og i perioden 1975-81 også medlem av NTNFs råd.

Ved siden av sin store innsats innen vitenskapen har Gjønnes også utfoldet et sterkt politisk engasjement. Han meldte seg inn Arbeiderpartiet i begynnelsen av 1960-årene og har siden hatt en rekke politiske verv. Han ble valgt inn i Bærum kommunestyre i 1972, kom med i formannskapet og ble formann i generalplanutvalget. I Bærum ble han Arbeiderpartiets fremste talsmann som partiets

gruppefører, inntil han i 1979 ble politiker på heltid. Han tok da permisjon fra sin universitetsstilling og ble boligpolitisk rådgiver i Kommunaldepartementet. I denne tiden var han medlem av det boligpolitiske utvalg som stod for opplegget til en ny boligpolitikk for Arbeiderpartiet på begynnelsen av 80-tallet.

Etter stortingsvalget i 1981 vendte Jon Gjønnes tilbake til vitenskapen, og i 1982 ble han utnevnt til personlig professor i fysikk ved Universitetet i Oslo. Siden den gang har han vært en av de drivende kreftene bak utbyggingen av materialvitenskapen ved Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet og det nye Senter for Materialforskning (senere kalt Senter for Materialvitenskap) i Forskningsparken. Selv om han da hadde forlatt politikken på det sentrale plan, fortsatte han sitt politiske engasjement på andre felter og ble bl.a. formann i Datapolitisk råd i andre halvdel av 80-tallet.

I 1968 startet Gjønnes oppbyggingen av et moderne elektronmikroskopilaboratorium ved Fysisk institutt ved å anskaffe et Philips EM 300 transmisjonselektronmikroskop. Han viste store strategiske evner og et nært samarbeid med det metallurgiske miljøet på SI ble etablert. Den vitenskapelige aktivitet ble internasjonalt toneangivende samtidig som dette laboratoriet fikk stor betydning for Fysisk institutts aktiviteter innen materialvitenskap. I 1981 var Gjønnes drivkraften bak opprettelsen av et optisk-metallografilaboratorium ved Fysisk institutt. Han var leder for elektronmikroskopilaboratoriet i perioden 1968–1988 inntil laboratoriet ble omorganisert som egen forskningsgruppe ved Fysisk institutt. Den nye forskningsgruppen ble kalt Strukturfysikk. I 1990 flyttet gruppen sine optiske og elektronmikroskopiske laboratorier til Forskningsparken og ble en del av Senter for Materialforskning. I 3 år fra 1996 var Jon Gjønnes seniorstipendiat og han er fortsatt en meget aktiv forsker.

Professor Jon Gjønnes har en meget omfattende vitenskapelig produksjon. Den omfatter tidlige røntgenundersøkelser av cellulose, uordnede og amorfe materialer. Hovedaktiviteten har imidlertid vært innen elektron-diffraksjon og -mikroskopi, med vekt på spredningsteori i forbindelse med strukturstudier og en rekke anvendelser innen materialvitenskap. Jon Gjønnes har gitt viktige bidrag til teori og eksperimenter for elektrondiffraksjon fra amorfe filmer, diffus spredning og svake reflekser, teori for Kikuchi-linjer, studier av utfellingsreaksjoner i lettmetaller og strukturundersøkelser av oksider med høye defektkonsentrasjoner. Han har også gitt viktige bidrag til teorien for 'channeling'. I krystallografiens historie vil hans navn være særlig knyttet til forståelsen av de såkalte Gjønnes-Moodie (G-M)-linjer som opptrer i konvergentstrålediffraksjonsmønster. Disse linjene er sentrale ved strukturundersøkelser i moderne transmisjons-elektronmikroskop.

Gjønnes har vært invitert foredragsholder ved en rekke vitenskapelige kongresser i Australia, USA, Japan, England, Israel, Tyskland, Frankrike og Italia. I 1972 arrangerte han en Nordisk sommerskole i elektrondiffraksjon og -mikroskopi og i 1988 et Nordisk forskerkurs i konvergentstrålediffraksjon. I 1974 var Jon Gjønnes gjesteprofessor ved Tohoku-universitetet i Japan og i 1986 visiting professor ved Arizona State University i USA. I 1993–94 fulgte et nytt utenlandsopphold, atter en gang som visiting professor ved Tohoku-universitetet.

Professor Gjønnes har vært medlem av programkomiteer for en rekke internasjonale konferanser innen elektronmikroskopi og krystallografi. Etter at han ble seniorstipendiat tok han initiativet til dannelsen av den såkalte SIG (Special Interest Group) innen elektronkrystallografi. Gjennom denne gruppen gjør han et viktig arbeid for bruk av elektroner ved strukturundersøkelser.

I løpet av sitt vitenskapelige virke har professor Jon Gjønnes frembrakt mange hovedfags- og doktorgradskandidater som alle står i stor takknemlighet til årets 70-åring. Mange er i dag ansatt som professorer ved universitetene i Oslo og Trondheim samt høgskolen i Stavanger, og føler det som et privilegium å føre professor Gjønnes sin virksomhet videre.

Jon Gjønnes er en meget sprek 70-åring. Selv om han nå har gått over i pensjonistenes rekker, er han fremdeles aktiv innen elektrondiffraksjon og metallurgi.

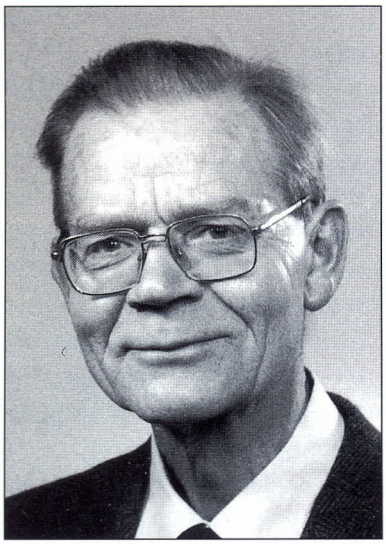
Strukturfysikk-gruppen ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, ønsker Jon lykke til i årene framover.

Tore Amundsen Arne Olsen Erik Sørbrøden
Johan Taftø Przemyslaw Zagierski

∞

In Memoriam

Bertel Grimeland (1920–2000)



Førstelektor ved Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo dr.philos. Bertel Andreas Grimeland døde den 22. oktober i en drukningsulykke i Spania.

Grimeland var født den 10. oktober 1920 i Oslo som sønn av den kjente skolebestyrer Bertel Andreas Grimeland. Han fikk derved fra ungdommen av en sterk interesse for studier og intellektuell virksomhet. Grimeland tok realartium i 1938 på Frogner Skole i Oslo, og matematisk-naturvitenskapelig embetseksamen med fysikk som hovedfag ved Universitetet i Oslo, høsten 1947. Hans hovedfagsoppgave var "Undersøkelse av en ionekilde".

Grimeland tilhørte det første kullet av studenter i eksperimentell kjernefysikk i Norge som begynte på hovedfag etter frigjøringen, sommeren 1945. Grunnleggeren av den akseleratorbaserte kjernefysiske forskning i Norge, Roald Tangen, hadde i 1942 fulgt med professor Johan Peter Holtsmark fra Norges Tekniske Høgskole i Trondheim til Universitetet i Oslo. Van de Graaff-maskinen som var bygget ved NTH fulgte også med, og Grimelands hovedfagsoppgave var knyttet til driften av denne. Oppgaven gikk ut på å forbedre den daværende ionekilden til akselerasjon av protoner, med henblikk på å anvende den i den nye Van de Graaff-generatoren som Roald Tangen planla på Blindern.

Arbeidsbetingelsene for en eksperimentalfysiker i Norge i de første etterkrigsårene var helt andre enn i dag. Praktisk talt alt eksperimentelt utstyr ble bygget på verkstedet på instituttet. Det samme var tilfelle med Grimelands ionekilde. Grimeland løste sin oppgave til alles tilfredshet og var en mann man lærte meget av i sin studietid.

Etter hovedfagseksamen ble Grimeland våren 1948 midlertidig assistent ved Fysisk institutt ved NTH i Trondheim, og fra august 1948 til høsten 1949 var han assistent ved Fysisk institutt på Blindern. I 1950 arbeidet Grimeland ved Forsvarets forskningsinstitutt, og i periodene 1951–54 og 1955–59 arbeidet han som forsker ved Institutt for atomenergi. I perioden 1954–55 arbeidet Grimeland, etter innbydelse, ved Institut za Nuklearne Naue, Vinca i Jugoslavia. Hans forskningsområde i disse årene var eksperimentell nøytron- og kjernefysikk. I 1956 publiserte han sitt doktorarbeide: *"The scintillation counter as a device for absolute measurements, and for determination of neutron energies."* (JENER publications 12 (1956)). Dette arbeidet høstet stor anerkjennelse og er ofte referert i arbeider over instrumentering i kjernefysikk.

I 1959 kom Grimeland tilbake til Fysisk institutt på Blindern, og var i perioden 1961–64 NTNF-forskningsstipendiat. Han arbeidet da i første rekke med eksperimenter på den nye nøytrongeneratoren som var anskaffet på instituttet.

I midten av 1960-årene begynte Grimeland som veileder på laboratoriekursene på Fysisk institutt. Her nedla han et pionerarbeide ved å lage nye oppgaver som inneholdt regnemaskinprogrammer for automatisk databehandling, hvorved man kunne utføre målinger som man ikke kunne gjøre i tidligere kursoppgaver. Av sine medarbeidere ble han berømmet som en meget grundig og samvittighetsfull laboratorieveileder. I det hele tatt må man si at det mest karakteristiske ved Bertel Grimeland var hans tvers igjennom alvorlige og redelige holdning til vitenskapelig arbeid.

Grimeland deltok meget aktivt i diskusjonene om universitets- og forskningspolitikk i etterkrigstiden, med artikler og innlegg i dagspressen og andre medier. Han var spesielt engasjert i den demokratiseringsprosess ved universitetene som fant sted i 1960–70 årene.

Bertel Grimeland hadde en rekke fremragende menneskelige egenskaper, som en sterk medmenneskelighet og rettferdighetsfølelse. Han vil bli husket av oss som hadde gleden av å få være hans kolleger og venner, som en mann med en utpreget humanistisk livsinnstilling og fremfor alt – karakter.

Sven Oluf Sørensen

∞

Tau-nøytrinoet

Lars Bugge og Farid Ould-Saada *

Sommeren 2000 ble den første direkte påvisning av tau-nøytrinoet, ν_τ, annonsert av fysikere i DONUT-eksperimentet ved Fermilab. Med dette er det tredje og siste nøytrinoet eksperimentelt påvist, i ethvert fall hvis vi tror at alle nøytrinoene er lette.[1,2] I denne artikkelen settes nøytrinofysikken i historisk perspektiv, hvoretter DONUT-eksperimentet og dets resultater[3] diskuteres.

Historisk perspektiv

Omkring 1930 kjente man til tre antatt elementære partikler: protonet, nøytronet og elektronet. (Nøytronet var strengt tatt ikke observert ennå, men det var forutsagt og ble eksperimentelt påvist av J. Chadwick i 1932.) Imidlertid hadde man et problem: I betastrålingsprosessen som man tolket som ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+1} Y + e^-$, altså at en kjerne med protontall Z går over til en kjerne med protontall $Z+1$ ved utsendelse av et elektron, observerte man eksperimentelt at elektronet hadde et kontinuerlig energispektrum. Dersom betaprosessen er korrekt beskrevet ovenfor, gir impuls- og energibevaring at elektronet alltid skulle ha en bestemt kinetisk energi. Noe var altså feil, men hva? Det er interessant å legge merke til at Niels Bohr foreslo at dette problemet kunne løses ved at energien ikke er bevart i atomenes verden.[4]

Den riktige forklaringen kom så tidlig som i 1930 i et bemerkelsesverdig brev fra den unge fysikeren Wolfgang Pauli til fysikerkongressen i Tübingen. I dette brevet, som åpner med den berømte hilsningen *Liebe Radioaktive Damen und Herren*, foreslår nemlig Pauli at energiregnskapet reddes av en lett, elektrisk nøytral partikkel som sendes ut fra kjernen i tillegg til elektronet. Forunderlig nok kaller han sin hypotetiske partikkel for et *nøytron*, og det var ikke før to år senere at Enrico Fermi innførte begrepet *nøytrino*, i en forelesning om emnet i Roma. I 1933 formulerte Fermi en teori for svake vekselvirkninger der nøytrinoet spilte en viktig rolle. Men flere store fysikere var skeptiske til innføringen av nøytrinoer. I et brev til Felix Bloch i 1934, skrev Niels Bohr: *"We have all of course been very interested in Fermi's new paper... although I must confess that I don't yet feel fully convinced of the physical existence of the neutrino."* Astrofysikeren Arthur Eddington sa i 1939: *"I am not much impressed by the neutrino theory. In an ordinary way I might say that I do not believe in neutrinos... Dare I say that experimental physics will not have sufficient ingenuity to make neutrinos?"*[5]

Man skjønte at det som foregikk under en betastrålingsprosess var at et nøytron i kjernen gikk over til et proton. Når vi tar med Paulis nøytrino kan dette formuleres slik:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu} \qquad (1)$$

I våre dager vil vi si at på elementærpartikkelnivå er det som skjer at en d-kvark i nøytronet (som består av én u- og to d-kvarker) går over til en u-kvark ved utsendelse av et elektron og et antinøytrino, og nøytronet går dermed over til et proton (to u-kvarker og én d).[6] Streken over ν symboliserer at det i dette tilfelle er et *anti*nøytrino som sendes ut. Reaksjonslikningen kan reformuleres til

$$\bar{\nu} + p \rightarrow n + e^+ \qquad (2)$$

Det var denne reaksjonen som ble utnyttet da nøytrinoet endelig ble påvist midt på 50-tallet – 25 år etter Paulis forutsigelse. For å observere partikler som har ekstremt svak vekselvirkning med materie, må man kompensere ved å ha mange slike partikler innfallende på detektoren. C.L. Cowan og F. Reines innså at dette kunne oppnås ved å måle i nærheten av en kjernereaktor. I 1956 publiserte de oppdagelsen: De observerte ved Savannah River-reaktoren en rate for nøytrinovekselvirkninger som var omkring en million ganger høyere enn bakgrunnen (vesentlig fra solen). Den 14. juni 1956 sendte de et telegram til Pauli for å informere ham om sin suksess: *"We are happy to inform you that we have definitely detected neutrinos from fission*

* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

fragments by observing inverse beta-decay of protons. Observed cross section agrees well with expected $6 \cdot 10^{-44} cm^2$*".*[7] To teoretikere, H. Bethe og R. Peierls, hadde regnet på en atomkjernes absorpsjon av et nøytrino i 1934, og funnet at sannsynligheten var mye mindre enn for noen annen kjent prosess på den tiden. De konkluderte med at *"this meant that one obviously would never be able to see a neutrino"*. Imidlertid, som Peierls kommenterte nesten 50 år senere,[8] tok ikke han og Bethe hensyn til *"the existence of nuclear reactors producing neutrinos in vast quantities"* eller til *"the ingenuity of experimentalists"*.

Det neste viktige skritt i historien om nøytrinoet var oppdagelsen av π-mesonet i 1947. Omkring ti år tidligere var myonet, μ, en tyngre slektning av elektronet, oppdaget. π-mesonet ble observert å henfalle til μ pluss en lett nøytral partikkel som ungikk deteksjon, men som nok en gang var nødvendig for å redde impuls- og energibevaring. Det var rimelig å anta at det også i dette tilfellet dreide seg om en partikkel av nøytrinoslaget:

$$\begin{aligned} \pi^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu} \\ \pi^+ &\rightarrow \mu^+ + \nu \end{aligned} \qquad (3)$$

Nøytrinoene som deltar i vanlig β-henfall av kjerner, likning 1, produserer alltid elektroner eller positroner når de vekselvirker med nukleoner. Dette sees av følgende omskrivninger av prosessen i likning 1:

$$\begin{aligned} \bar{\nu} + p &\rightarrow n + e^+ \\ \nu + n &\rightarrow p + e^- \end{aligned} \qquad (4)$$

hvorav den første som nevnt ble benyttet under oppdagelsen av nøytrinoet. Fysikerne L. Lederman, M. Schwartz, J. Steinberger og medarbeidere bestemte seg for å undersøke om det samme er tilfelle når nøytrinoer fra π-mesonhenfall faller inn mot materie. I 1962 gjennomførte de et meget betydningsfullt eksperiment, der de slo fast at nøytrinoene fra π-mesonhenfall alltid produserte myoner, *aldri elektroner*, når de vekselvirket med materie. De slo med andre ord fast at *nøytrinoer fra π-mesonhenfall er forskjellige fra nøytrinoene som opptrer i vanlig β-henfall!*

For å markere at nøytrinoene er forskjellige, vil vi heretter følge vanlig notasjon og kalle nøytrinoene som opptrer sammen med elektroner i β-henfall for ν_e og nøytrinoene som opptrer sammen med myoner for ν_μ. Resultatet av eksperimentet kan da skrives:

$$\begin{aligned} \bar{\nu}_\mu + p &\rightarrow n + \mu^+ \\ \nu_\mu + n &\rightarrow p + \mu^- \end{aligned} \qquad (5)$$

I 1957 formulerte Bruno Pontecorvo en teori for nøytrino-oscillasjoner: Hvis mer enn en nøytrinotype eksisterer vil de være i stand til å oscillere frem og tilbake mellom forskjellige nøytrinotyper.

Elektron-nøytrinoer produsert på solen ble første gang påvist av Ray Davies og medarbeidere i et eksperiment i Homestake-gruven på slutten av seksti-tallet.[9] De fant bare omkring en tredjedel av forventet nøytrinofluks. Siden har flere andre eksperimenter uavhengig av hverandre målt vesentlig mindre fluks enn forventet. Dette fenomenet refereres vanligvis til som *det solare nøytrinoproblemet.*

Observasjoner av nøytrinoer produsert i atmosfæren av Super-Kamiokande-eksperimentet i Japan på slutten av nittitallet, synes å tyde på at nøytrinoene har en liten masse.[9,10] Eksperimentet viser færre ν_μ enn man naivt skulle vente. Observasjonen av denne såkalte *atmosfæriske nøytrino-anomalien* skyldes antakelig nøytrino-oscillasjoner av typen $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$. Dette krever at nøytrinoene har en viss masseforskjell. Observasjonene tyder på masser mye mindre enn de øvre grensene fra direkte søk etter nøytrinomasser,

$$\begin{aligned} m_{\nu_e} &< 3 \text{ eV/c}^2 \\ m_{\nu_\mu} &< 190 \text{ keV/c}^2 \\ m_{\nu_\tau} &< 18 \text{ MeV/c}^2, \end{aligned} \qquad (6)$$

og er således ikke i konflikt med disse.

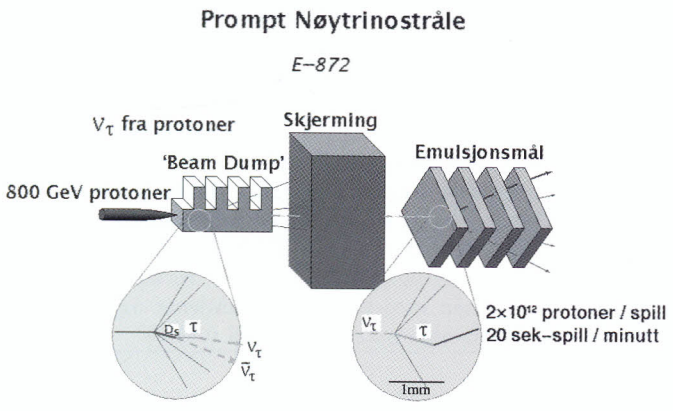
Midt på 1970-tallet ble enda en partikkel av samme kategori som elektronet og myonet oppdaget. Partikkelen fikk navnet tau-leptonet, τ, og M. Perl delte i 1995 nobelprisen i fysikk for denne oppdagelsen. Det var da rimelig å anta at det også til τ er assosiert et nøytrino, som vi gir navnet ν_τ. At det virkelig eksisterer tre forskjellige nøytrinoslag ble vist eksperimentelt ved LEP tidlig på nittitallet, ved hjelp av presisjonsmålinger av Z^0-bosonets egenskaper.[1,2] Dette var imidlertid en *indirekte* påvisning – fortsatt gjensto å vise at det finnes et nøytrino som ved vekselvirkning med materie produserer τ-leptoner (på samme måte som ν_e produserer elektroner og ν_μ produserer myoner). Det er en slik direkte påvisning som nå er annonsert av Fermilabs DONUT-eksperiment.

Påvisning av tau-nøytrinoet

Eksperimentet DONUT, *the Direct Observation of the NU Tau*, ved Fermilab annonserte 21. juli 2000 den første direkte evidens for tau-nøytrinoet, ν_τ. Den direkte påvisning av tau-nøytrinoets eksistens er et viktig resultat man har ventet lenge på. Det krevde 30 års teknologisk utvikling før man kunne vise at tau-nøytrinoer reagerer med materie ved å produsere τ-leptoner. τ-leptonene henfaller raskt etter at de er dannet, hovedsakelig (i 86 % av tilfellene) til én ladd partikkel pluss nøytrinoer. Hver av de følgende leptoniske henfallene har en sannsynlighet på 18 %:

$$\begin{aligned} \tau^- &\rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu + \nu_\tau \\ \tau^- &\rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau \end{aligned} \qquad (7)$$

En intens nøytrinostråle som også inneholder tau-nøytrinoer, blir produsert i en såkalt 'beam dump' (hele strålen fra en akselerator sendes inn mot materie, dumpes). Nøytrinostrålen treffer et mål bygget opp av nukleær emulsjon 36 meter fra 'beam dump'-en. Det eksperimentelle oppsettet oppsummeres i figur 1.



Figur 1. Eksperimentelt oppsett for den direkte påvisningen av ν_τ.

Kilden til ν_τ og $\bar{\nu}_\tau$ er kaskadehenfall av partikler som kalles D_s-mesoner (produsert av 800 GeV protoner i 'beam-dump'-en):

$$\begin{aligned} D_s^- &\rightarrow \tau^- + \bar{\nu}_\tau \rightarrow \nu_\tau + \bar{\nu}_\tau + X \\ D_s^+ &\rightarrow \tau^+ + \nu_\tau \rightarrow \bar{\nu}_\tau + \nu_\tau + X \end{aligned}$$

X står for en eller flere ladde partikler. Disse stanses av skjerming rundt 'beam-dump'-en. I analogi med likningene 4 og 5 skaper vekselvirkningen mellom ν_τ og en atomkjerne et ladd tau-lepton:

$$\begin{aligned} \nu_\tau + N &\rightarrow \tau^- + X \\ \bar{\nu}_\tau + N &\rightarrow \tau^+ + X \end{aligned} \qquad (8)$$

Tau-leptonets spor avsettes i kjernefysisk emulsjon, en slags tredimensjonal fotografisk film som gir en tredimensjonal posisjonsoppløsning på omtrent 1 μm.

Som fotografisk film lages en emulsjon av et sølvsalt, vanligvis bromid, oppløst i gelatin og smørt tynt utover et substrat. Flerlags emulsjonsdetektorer var historisk den første måten å visualisere spor etter ladde partikler på. Se Boks 1 for flere detaljer.

Emulsjoner har utmerket romlig oppløsning, men har den store ulempen at de er permanent følsomme. Dette leder til ikke-trivielt dataanalysearbeid.

Boks 1. Emulsjonsteknikk

Vi vil her nevne noen av de mange eksemplene på oppdagelser som benyttet emulsjonsteknikken. Ladde pimesoner ble oppdaget i 1947 ved bruk av fotografisk emulsjon som inneholdt et sølvsalt. Ionisasjon som skyldtes ladde partikler som passerte gjennom emulsjonen ledet til sølvkorn ved fremkalling som dannet et visuelt bilde av sporene etter pimesonene. Rekkevidden til partiklene i emulsjonen kan brukes til å estimere deres energi. C.M.G. Lattes og medarbeidere studerte positive pimesoner som stoppet før de henfalt ved reaksjonen $\pi^+ \rightarrow \mu^+\nu_\mu$ som gir monoenergetiske myoner. Myonene beveger seg omtrent 600 μm i emulsjonen før de stanser, og henfaller så ved reaksjonen $\mu^+ \rightarrow e^+\nu_e\bar{\nu}_\mu$.
Da eksperimentet til Chamberlain og kolleger som oppdaget antiprotonet, ble stilt opp, ble en emulsjonsstakk eksponert. Denne eksponeringen krevde en kobberabsorbator for å bremse antiprotonene slik at de stanset i emulsjonen. Etter omhyggelig scanning ble én stoppende negativ partikkel med protonmassen observert.
Det var flere antydninger om sjarm-kvarken i litteraturen før den ble oppdaget i 1974. K. Niu og medarbeidere i Japan, observerte flere hendelser indusert av kosmisk stråling i emulsjon der et sekundærverteks ble observert 10 til 100 μm fra primærvertekset. Dette kan ha skyldtes henfall av en partikkel med en levetid i området 10^{-12} til 10^{-13} s, noe som nettopp tilsvarer levetiden for mesoner med en sjarm-kvark.

Hendelsene må lokaliseres ved et omhyggelig arbeid med mikroskopbaserte metoder. Bruk av emulsjoner den senere tid har derfor vært begrenset til spesielle tilfeller der det er essensielt med best mulig romlig oppløsning. Vanligvis stilles emulsjonene opp for lengre kjøringer og anvendes i tilfeller med lav partikkelfluks eller i eksperimenter

som involverer lave virkningstverrsnitt, slik som i nøytrinofysikk. Automatiserte metoder for dataanalyse (for eksempel ved scanning med CCD-kamera) har i visse tilfeller vist seg mulig. I tau-nøytrinotilfellet tillot emulsjonsteknikken måling av meget korte spor etter tau-leptoner, typisk 1 mm lange, og viste seg igjen å lede til viktige resultater.

ν_τ-kjennetegn

Hovedkjennetegnet på et tau-lepton som er produsert av et tau-nøytrino i emulsjonen, er et énmillimeters spor som ender i en knekk som antyder dets henfall. Tau-leptonets levetid er bare en brøkdel av et pikosekund (10^{-12} s). Dets midlere henfallslengde i DONUT-eksperimentet er omtrent 2 mm. DONUT-eksperimentet samlet inn omtrent seks millioner potensielle reaksjoner i emulsjonen. Blant 1000 interessante kandidater ga til slutt fem hendelser evidens for τ-nøytrinoet: fire lange τ-spor og ett kort med en forventet bakgrunn på hen-

Boks 2. Nøytrino-oscillasjoner

OPERA (Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus) er en av detektorene som er planlagt med henblikk på søk etter nøytrino-oscillasjoner i den foreslåtte nøytrinostrålen fra CERN ved Genève til Gran Sasso-laboratoriet i Italia, 730 km unna (se figuren på forsida). Datainnsamling er planlagt å starte i mai 2005. Et hurtigere emulsjonsutlesningssystem trengs innen år 2001 da en prototype for OPERA skal være ferdig. DONUT vil bli den første brukeren av dette systemet.

Et liknende prosjekt finnes i USA. Nøytrinoer produsert på Fermilab ved Chicago, skal sendes 730 km – tilfeldigvis samme distanse som for de européiske nøytrinoene(!) – til undergrunnslaboratoriet Soudan i Minnesota. I Japan gjennomføres for tiden et såkalt nøytrino forsvinnings-(*disappearance*) oscillasjonseksperiment, K2K (*KEK to Kamiokande*), i motsetning til et tilsynekomst- (*appearance*) eksperiment som OPERA. En *nær-detektor* på KEK-laboratoriet, der nøytrinostrålen produseres, måler antall produserte ν_μ mens en *fjern-detektor*, i dette tilfellet Super-Kamiokande, på nytt måler nøytrinofluksen 250 km unna. En minskning av ν_μ-fluksen kan være et tegn på nøytrino-oscillasjoner. På den internasjonale høyenergifysikk-konferansen som ble holdt i Osaka i Japan i juli 2000, presenterte K2K-kollaborasjonen sine første, foreløpige, resultater. De rapporterte da om et mulig ν_μ-underskudd. Den statistiske signifikansen på bare to standardavvik tillater imidlertid foreløpig ikke endelige konklusjoner om akseleratorbasert observasjon av oscillasjoner.

Som fysikere basert i Norge, er det fristende for oss å spekulere over muligheten av å sende en nøytrinostråle fra CERN til en detektor i Longyearbyens kullgruver på Svalbard!

Boks 3. Åpne nøytrinorelaterte spørsmål

Listen over spørsmål vi gjerne skulle hatt mer presise svar på enn vi har i dag, er lang. Har nøytrinoene masse? Det er sterke indikasjoner på at svaret er, ja. Men hvorfor er de så mye lettere enn andre leptoner og kvarker? Hva er den underliggende mekanismen for et slikt mønster? Den såkalte vippehuske- (*see-saw*) mekanismen medfører eksistensen av et tungt, høyredreiende nøytrino. Er nøytrinoene tunge nok til å forklare mørk materie i universet? Oscillerer de i vakuum eller i materie? Hva er forklaringen på det solare nøytrinoproblemet? Hva ligger under det atmosfæriske nøytrinoproblemet? Har nøytrinoer elektromagnetisk vekselvirkning? Har de elektrisk eller magnetisk dipolmoment? Har de struktur?

Er nøytrinoene Majorana-partikler, som betyr at de er sine egne antipartikler, eller er de Dirac-partikler slik at partikler og antipartikler er forskjellige? Ettore Majorana, som døde i 1938, bare 32 år gammel, publiserte ikke mye av sitt arbeid. Året før bestemte han seg imidlertid for å konkurrere om en universitetsstilling og skrev sammen en publikasjon for å forbedre sjansene sine. Spørsmålet han reiste, om nøytrinoet er sin egen antipartikkel, er blitt stadig viktigere og utgjør nå et av de sentrale spørsmålene i nøytrinofysikken.

For partikler uten masse er det umulig å skille mellom de to typene. En måte å demonstrere Majorana-egenskapene på, ville være å observere nøytrinoløst dobbelt β-henfall. Prosessen $^{76}_{32}Ge \rightarrow ^{76}_{34}Se + 2e^- + 2{,}04$ MeV, er bare mulig hvis nøytrinoene ikke er masseløse og er identiske med antinøytrinoene. I dette tilfellet blir antinøytrinoet som emitteres i det første β-henfallet ($n \rightarrow pe^-\overline{\nu}_e$) absorbert ($\overline{\nu}_e \equiv \nu_e$) som et nøytrino ($\nu_e n \rightarrow pe^-$), hvilket resulterer i reaksjonen $2n \rightarrow 2p + 2e^-$. En slik prosess vil bryte bevaring av lepton-kvantetallet med to enheter og altså lede til ny fysikk utover standardmodellen.

Ved eksperimenter som ser etter slike dobbelt β-henfall har man kunnet sette en grense på nøytrinomassen på m_ν <0,2 eV. Et nytt prosjekt, GENIUS (GErmanium in liquid NItrogen Underground Setup), forventes å redusere bakgrunnen med tre størrelsesordener og å være følsomt for nøytrinomasser helt ned til 0,01 eV.

holdsvis 0,44 og 0,13. Det observerte antall hendelser er i overensstemmelse med standardmodellens forutsigelser. DONUT-kollaborasjonen planlegger å øke statistikken med en faktor 2.

Muligheten til å observere tau-nøytrinoer direkte er et viktig skritt mot påvisning av nøytrinomasser forskjellig fra null i såkalte langdistanse akseleratorbaserte nøytrino-oscillasjonseksperimenter, se Boks 2.

Avslutning

Nøytrinofysikken har fortsatt åpne spørsmål – listen over det vi ønsker å vite om nøytrinoene er fortsatt lang, se Boks 3. Deteksjon av tau-nøytrinoet

og måling av dets mulige masse og andre egenskaper, vil lenge fortsette å være en viktig del av partikkelfysikken!

Referanser

1. L. Bugge: *Elektrosvak fysikk ved LEP – Del II.* Fra Fysikkens Verden **58**, nr. 3, 67–74 (1996)
2. L. Bugge og A. L. Read: *Luminositetsbestemmelse i DELPHI-eksperimentet ved LEP-akseleratoren.* Fra Fysikkens Verden **59**, nr. 2, 31–36 (1997)
3. F. Ould-Saada: *Første evidens for tau-nøytrinoet.* Fra Fysikkens Verden **62**, nr. 3, 94–95 (2000)
4. N. Bohr: *Faraday Lecture.* J. Chem. Soc. (1932)
5. A.S. Eddington: *The philosophy of physical science.* Cambridge University Press, (1939) p 112
6. L. Bugge: *Elektrosvak fysikk ved LEP – Del I.* Fra Fysikkens Verden **58**, nr. 2, 43–51 (1996)
7. W. Pauli: *Collected Scientific Papers.* Wiley Interscience, New York, (1964);
   L.M. Brown: *The idea of the neutrino.* Physics Today **31**, September (1978)
8. R. Peierls: *The Early Days of Neutrino Physics.* Contemporary Physics **24**, 221 (1983)
9. L. Bugge og Ø. Grøn: *Nøytrinofysikk.* Naturen **124**, nr. 3, 128 (2000)
10. P. Osland og G.Vigdel: *Har nøytrinoene likevel masse?* Fra Fysikkens Verden **60**, nr. 4, 99–102 (1998)

∞

Kvintessens – universets vakuumenergi

Øyvind Grøn *

Observasjoner de siste årene tyder på at universets ekspansjon øker farten og at universet har en kritisk massetetthet. Men observasjonene viser også at tettheten av vanlig materie bare er 5 % av den kritiske tettheten, og at den gjennomsnittlige kosmiske tettheten av alle typer materie, som utgjør galakser og hoper av galakser samt intergalaktisk støv og gass, inkludert mørk materie, er omtrent en tredjedel av den kritiske tettheten. Alt dette antyder at over halvparten av universets energi eksisterer i form av en slags vakuumenergi, kalt kvintessens, som ikke gir seg til kjenne på annen måte enn ved gravitasjonsvirkningen den har på universets ekspansjon – og denne gravitasjonen må være frastøtende!

Akselerert ekspansjon

Skal en undersøke hvordan ekspansjonsfarten til universet endres med tiden, må en ha kjennskap til farten ved ulike tidspunkter. Dette kan oppnås ved å måle hvordan avstandene i universet endres på grunn av universets ekspansjon. Ved å observere rødforskyvningen til spektrallinjer i lyset fra fjerne objekter, kan man finne ut hvor mye universet har ekspandert fra det tidspunkt objektet sendte ut det observerte lyset og frem til observasjonsøyeblikket, siden bølgelengdene strekkes like mye som de kosmiske avstandene øker.[1] Dersom man også greier å bestemme avstandene til objektene, kan man finne ut når det observerte lyset ble sendt ut. Jo større avstand legemet har fra jorda, desto tidligere er sendetidspunktet. Med andre ord, ved å observere objekter i forskjellige avstander, finner man hvor mye universet har ekspandert ved ulike tidspunkter. Dermed kan man finne ekspansjonens endring pr. tidsenhet, dvs. ekspansjonsfarten, som funksjon av tiden.

Legemer i universet har to typer bevegelse i forhold til oss, en på grunn av universets ekspansjon, og en *egenbevegelse* som ikke har noe med ekspansjonen å gjøre, men som kan skyldes både bevegelser legemene fikk da de ble dannet og gravitasjonsfelter de senere har vært utsatt for. Typisk hastighet for egenbevegelsen til galaksehoper er 400 km/s. Ifølge *Hubbles lov* er

*Høgskolen i Oslo, og Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

hastigheten v til et legeme på grunn av universets ekspansjon, proporsjonal med legemets avstand d, dvs. $v = Hd$, der proporsjonalitetsfaktoren H kalles hubbleparameteren. Universets ekspansjonshastighet vokser med omtrent 20 km/s for hver million lysår som avstanden øker med. Dette uttrykkes ved at hubbleparameteren har verdien $H = 20$ km/s per million lysår.

Verdien av hubbleparameteren forteller hvor raskt universet ekspanderer. I avstanden 20 millioner lysår er den typiske egenhastigheten og ekspansjonshastigheten like store. Dersom man krever at egenhastigheten bare skal være 10 % av ekspansjonshastigheten, må man observere objekter som er minst 200 millioner lysår fra jorda.

Å bestemme avstanden til så fjerne objekter med omtrent 20 % nøyaktighet, er ikke lett. Først i slutten av 1990-årene greide man det. Nøkkelen til suksess var supernovaer av type Ia. De er eksploderende hvite dvergstjerner i dobbeltstjernesystemer. Teorien viser at luminositeten er temmelig lik for alle slike supernovaer. En viss variasjon er det; men det er en korrelasjon mellom tidsavhengigheten til lysstyrken og størrelsen til luminositeten som gjør at man kan bestemme luminositeten til slike supernovaer med god nøyaktighet. De kan da brukes som standard lyskilder, og den observerte lysstyrken forteller hvor langt unna eksplosjonen skjedde.

Supernovaer av type Ia lyser ufattelig sterkt, ti milliarder ganger sterkere enn sola. De kan observeres selv om de er så langt borte at lyset trenger flere milliarder år på veien fram til jorda. Ved å observere rødforskyvningen og lysstyrken til slike supernovaer og benytte Hubbles lov, finner man hastigheten deres i observasjonsretningen, og for avstander over 200 millioner lysår kan denne settes lik universets ekspansjonshastighet. Observasjoner av supernovaer i ulike avstander angir universets ekspansjonshastighet ved ulike tidspunkter.

Denne strategien ble brukt av to grupper av astronomer, the Supenova Cosmology Project og the High-Z Supernova Search, som arbeidet uavhengig av hverandre. De fant, stikk i strid med det de ventet, at Hubbleparameteren hadde størst verdi for de nærmeste supernovaene, de som senest sendte ut det observerte lyset.[1] Dette betyr at universet ekspanderte raskere desto senere man observerte det. Ekspansjonsfarten øker med tiden!

Kritisk massetetthet

En av konsekvensene av inflasjonsteorien er at universet forventes å ha kritisk massetetthet, dvs. en slik tetthet at rommet er flatt, dersom det har gjennomgått en inflasjonsperiode tidlig i sin historie.[2] I denne perioden nærmet massetettheten seg eksponentielt mot den kritiske tettheten. Observasjoner av universets massefordeling i stor skala, samt av massenes bevegelser, tyder imidlertid på at den gjennomsnittlige tettheten av all masse i universet er under halvparten av den kritiske tettheten.

Men observasjoner av temperaturfluktuasjonene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen forandret på dette. Det var de første observasjonene som viste direkte at rommet er flatt – eller i hvert fall så å si flatt – dvs. at universets totale massetetthet er nær den kritiske tettheten.[3]

Vakuumenergi

Observasjonene av temperaturfluktuasjoner i den kosmiske bakgrunnsstrålingen og av supernovaer av type Ia, tyder altså på at universet har kritisk massetetthet og akselerert ekspansjon. Dette var vanskelig å forstå i lys av at materiens tiltrekkende gravitasjon burde bremse på akselerasjonen. Akselerert ekspansjon kunne bare forklares som et resultat av frastøtende gravitasjon.[2]

Dette problemet hadde en overraskende løsning. Man kom frem til at universet må være dominert av en form for energi – kanskje en type vakuumenergi – med den bemerkelsesverdige egenskapen at den virker på seg selv med frastøtende gravitasjon. Beregninger viste at en universmodell med kritisk massetetthet der 70 % består av vakuumenergi og 30 % av materie, passer godt med observasjonene.

Kosmisk sammentreff og fininnstilling

Ofte er det slik at løsning av ett problem introduserer nye vanskeligheter. Slik var det også i dette tilfellet. Supernovaobservasjonene fortalte om universets bevegelsestilstand noen hundre millioner år tilbake i tid. Det er nesten for 'nå' å regne i universets 15 milliarder år lange historie. Resultatet var altså at tetthetene av vakuumenergi og materiens energi er omtrent like store. Men disse to typene av energi oppfører seg helt forskjellig i et ekspanderende univers. Materiens tetthet avtar med 3. potens av de økende avstandene. Når avstandene

dobles på grunn av ekspansjonen, blir tettheten en åttendedel så stor. Vakuumenergien, derimot, har konstant tetthet under ekspansjonen. Det fortoner seg som et forbløffende sammentreff at vakuumenergiens tetthet skal være så nær den kritiske tettheten 'nå'.

Noen mekanisme som kan være årsak til dette er ikke kjent. Hvis man prøver å beregne tettheten av vakuumenergi ut fra kvantefeltteori, divergerer svaret. Det blir uendelig stor tetthet. Nå kan man si at teoriene vi har ikke gjelder ved mindre utstrekninger enn plancklengden, 10^{-35} m, siden en beskrivelse av fysikken i mindre skala krever en kvantegravitasjonsteori som vi ennå ikke er i besittelse av. Derfor er det naturlig å innføre en begrensning til større avstander enn plancklengden i beregningene. Dette leder til en energitetthet lik plancktettheten, 10^{91} J/m^3, som er en faktor 10^{120} større enn det astronomiske observasjoner tillater, noe som klart og tydelig forteller oss hvor lite vi ennå vet om vakuum.

Det eksisterer i teorien flere ulike former for vakuumenergi, til og med vakuumenergi som har negativ energitetthet. Man har spekulert på om ulike typer vakuumenergi, hver med stor energitetthet, kansellererer hverandre. I så fall ville man ha ventet full kansellering slik at den kosmiske tettheten av vakuumenergi var lik null. Men det som skal til for å gi overensstemmelse med de omtalte observasjonene, er at vakuumenergien har en, fra et feltteoretisk synspunkt, forsvinnende liten energitetthet lik 10^{-25} J/m^3, men altså – ikke lik null. Dette krever en fantastisk høy grad av fininnstilling, noe som virker svært lite naturlig.

Kvintessens

En første tilnærmelse til et felt der vi erkjenner å ha mangelfulle kunnskaper, er å forsøke med en fenomenologisk beskrivelse. Vi kan prøve å lage en beskrivelse av de aktuelle observasjonsdataene uten at vi er i besittelse av en fundamental teori for dem. En slik beskrivelse vil ha en *ad hoc* karakter og er kun et første skritt for å bli bedre kjent med fenomenet. Når det gjelder vakuumenergi er vi nå i et slikt begynnerstadium.

Det er i en slik sammenheng man har introdusert en form for dynamisk vakuumenergi som er kalt *kvintessens* i universmodeller utviklet de siste par årene, som et forsøk på å løse det kosmiske fininnstillings- og sammentreffproblemet.[4]

Kvintessens er en form for vakuumenergi med frastøtende gravitasjon og med tidsavhengig tetthet og trykk. Tilstandslikningen for kvintessens skrives $\rho = wp$, der både energitettheten ρ, trykket p og proporsjonalitetsfaktoren w er funksjoner av tiden. Den relativistiske gravitasjonelle energitettheten er:[2] $\rho_G = \rho + 3p = (1 + 3w)\rho$. Derfor må $w < -1/3$ for at gravitasjonen skal være frastøtende. Spesialtilfellet $w = -1$, svarer til vakuumenergi med konstant energitetthet. Det er denne typen energi som har vært representert ved den såkalte kosmologiske konstanten Λ i Einsteins feltlikninger.[1]

Den dynamiske utviklingen av kvintessensenergien fremkommer som et resultat av å introdusere et skalarpotensial for energien og kreve at Einsteins feltlikninger i den generelle relativitetsteorien er oppfylt. Formen til skalarpotensialet, dvs. hvordan potensialet avhenger av feltstyrken, har avgjørende betydning for feltets utvikling, og den er foreløpig *ad hoc*. Man prøver seg frem og finner et potensial slik at teorien stemmer best mulig med observasjonene.

Dette høres lite "vakkert" ut. Men denne måten å utforske vakuumenergiens kosmiske egenskaper på, kan gi informasjon som kanskje kan få oss på sporet av en mer tilfredsstillende teori.

Forfølgerfelt

I 1999 løste I. Zlatev, L. Wang og P.J. Steinhardt sammentreffproblemet ved å introdusere en form for kvintessens som de kalte et "forfølgerfelt".[5] Feltet har den egenskapen at tettheten til kvintessensenergien avtar på samme måte som tettheten til strålingsenergien så lenge universet er strålingsdominert, og som tettheten til materieenergi når universet er materiedominert.

De fant også forfølgerfelt som etter en viss tid skifter oppførsel slik at tettheten til kvintessensenergien nærmer seg den kritiske tettheten, blir lik den, og etter hvert større enn den. Løsningene av likningene viser at så lenge tettheten til kvintessensenergien følger utviklingen til strålings- og materieenergien, er tettheten til denne type vakuumenergi mye mindre enn energitettheten til stråling og materie. Men nesten uavhengig av valg av begynnelsesbetingelser, vil tettheten til vakuumenergien ved et eller annet tidspunkt bli lik den kritiske energitettheten. For at dette skal inntreffe 'i vår tid', må visse parametre i utrykket for potensialet til kvintessensfeltet fininnstilles med meget stor nøyaktighet.

Forfølgerfeltet løste sammentreffproblemet, men ikke fininnstillingsproblemet.

k-essens

I november 2000 publiserte C. Armendariz-Picon, V. Mukhanov og P.J. Steinhardt et arbeid der de introduserte en ny type kvintessensenergi, kalt k-essens, og hvor de også løste fininnstillingsproblemet.[6] I en oversiktsartikkel gir Caldwell og Steinhardt en populær fremstilling av dette og de tidligere kvintessensresultatene.[7]

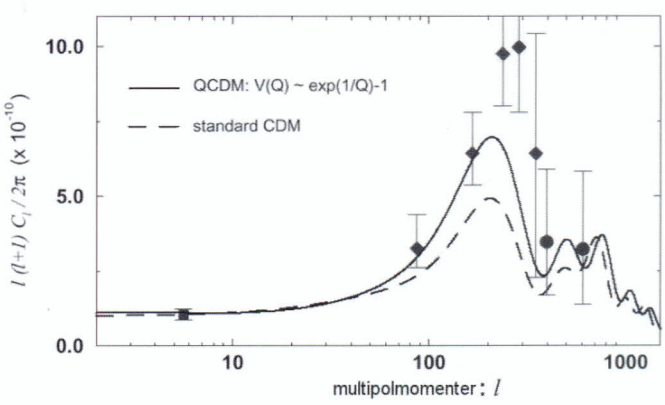
Dynamikken til k-essensfeltet er slik at det oppfører seg som et forfølgerfelt så lenge universet er strålingsdominert, dvs. i omtrent de første ti tusen årene av universets historie. Ifølge løsningene av likningene til k-essensfeltet, endrer tilstandslikningen til feltet seg slik at $w < -1/3$ etter at universet er blitt massedominert. Dermed gir feltet opphav til frastøtende gravitasjon. Ved å kombinere feltlikningene til kvintessensenergien med Einsteins feltlikninger, finnes utviklingen til et univers med stråling, materie og k-essensenergi. Først noen milliarder år etter at universet gikk over fra å være strålingsdominert til å bli materiedominert, vil k-essensfeltet dominere rommets utvikling, slik at universets ekspansjon begynner å akselerere igjen. Første gang var i inflasjonsperioden.

Ifølge denne teorien observerer vi kosmisk akselerasjon 'nå' fordi tiden det har tatt å utvikle menneskeheten, og tiden det har tatt for energitettheten til k-essensfeltet å bli større enn den utjevnete kosmiske materiens energitetthet, begge er noen milliarder år.[8]

Observerbare konsekvenser

Kvintessensteoriene vil bli konfrontert med flere typer observasjoner i de kommende årene. For det første har NASA planlagt å sende opp en satellitt, SNAP (SuperNova Acceleration Project), som skal kunne observere supernovaer av type Ia i enda større avstand fra jorda enn de som hittil er observert. Dermed vil man få en ny test på holdbarheten av observasjonene som viste at universet er i en tilstand av akselerert ekspansjon. Skulle de nye observasjonene vise at universets ekspansjonshastighet likevel ikke øker, vil kvintessensteoriene straks bli mindre interessante.

Kvintessensenergien har en virkning på tetthetsfluktuasjonene som eksisterte da universet ble gjennomsiktig 300 000 år etter Big Bang. Den vil dermed påvirke temperaturfluktuasjonene i den kosmiske bakgrunnsstrålingen. Et eksempel på en slik virkning er vist i figur 1, der begge fluktuasjonskurvene er beregnet for universmodeller med flatt rom.[5]



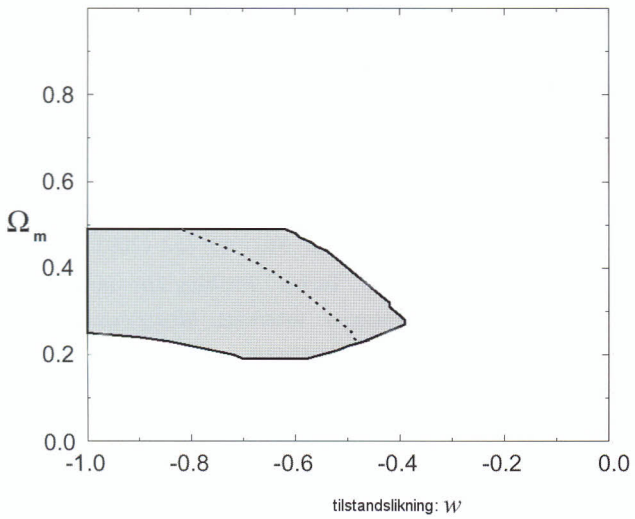
Figur 1. Den stiplete fluktuasjonskurven (se ref. 3) er beregnet for en universmodell dominert av kald mørk materie, dvs. en kosmisk gass med så lav temperatur at trykkets betydning for universets ekspansjon kan neglisjeres. En slik modell kalles på engelsk for "the standard Cold Dark Matter model" (standard CDM). Den heltrukne kurven er beregnet for en universmodell dominert av kvintessensenergi. Observasjonsdata er plottet inn på figuren. Multipolmomentene l representerer vinkelutstrekning, $\theta = 180°$. Størrelsen langs den vertikale aksen representerer $(\Delta T_l/T)^2$, der ΔT_l er middelverdien av temperaturfluktuasjoner med vinkelutstrekning $\theta = 180°/l$ på himmelen.

Standard-kald-mørk-materie-modellen har ingen vakuumenergi, bare energi i form av materie og stråling. Temperaturfluktuasjonene i standard-kald-mørk-materie-modellen er mindre enn i universmodellen som er dominert av kvintessensenergi. Målinger med MAP og Planck-satellittene, som etter planen skal sendes opp henholdsvis i 2001 og 2007, vil bli nøyaktige nok til å kunne teste konsekvensene av kvintessensteoriene.

Kvintessensenergien påvirker rommets geometri. Dette har betydning for hvordan antallet galakser øker med voksende avstand i et univers der galaksene er jevnt fordelt i rommet. En avansert spektrograf, kalt DEEP (Deep Extragalactic Evolutionary Probe), på Keck II-teleskopet på Hawai, skal nyttes til å oppnå så nøyaktige tellinger i stor skala at resultatene vil kunne brukes som en empirisk test av kvintessensteorienes holdbarhet.

L. Wang og medarbeidere[9] har undersøkt hvilke verdier av faktoren w i vakuumenergiens tilstandslikning, og hvilke verdier av materiens tetthet Ω_m i forhold til den kritiske tettheten, som stemmer best med en rekke forskjellige observerte egenskaper for universet. Resultatet er vist i figur 2.

Figuren gjelder for et flatt univers med $\Omega_m + \Omega_Q = 1$, der Ω_Q er den relative tettheten til



Figur 2. Det skraverte området viser foretrukne verdier av den kosmiske materiens relative tetthet Ω_m og av faktoren w i tilstandslikningen til kvintessensenergien, bestemt ut fra en rekke observasjoner av universets egenskaper.

kvintessensenergien, og viser at de foretrukne verdiområdene til Ω_m og w er: $0,2 < \Omega_m < 0,5$ og $-1,0 < w < -0,4$. Dette betyr at mellom 20 % og 50 % av universets energi er i form av materie, og mellom 50 % og 80 % er i form av kvintessensenergi. Når det gjelder materien er størsteparten i form av mørk materie som vi ikke vet hva består av.[10]

Den teoretiske utfordringen

Innenfor kosmologien har man iblant falt tilbake til det såkalte *antropiske prinsipp* når det har vist seg for vanskelig å gi en dynamisk eller kausal forklaring på observerte fenomener. Ifølge dette prinsippet er forklaringen på universets observerte egenskaper at om universet ikke hadde vært slik det observeres, så ville ikke menneskeheten ha eksistert, og vi ville ikke ha kunnet observert det. Dette har også vært sagt om det kosmiske sammentreff at en vakuumenergi med konstant tetthet, og stråling og materie med avtagende tetthet, har like stor tetthet 'nå'.

Denne type forklaring føles av de fleste som en resignasjon. Hvis man nøyer seg med dette, har man nærmest gitt opp. Innenfor kosmologien arbeider man derfor ufortrødent videre med å finne kausale forklaringer på fenomener som foreløpig bare har en antropisk forklaring. Det var da naturlig at man generaliserte beskrivelsen av kosmisk vakuumenergi og frigjorde seg fra den typen energi som har konstant tetthet og er beskrevet ved den kosmologiske konstanten. Den nye typen vakuumenergi, kalt kvintessens, har en tetthet og en tilstandslikning som kan variere både i tid og rom. Dette betyr også at man gir avkall på lorentzinvariansen til vakuumenergien, og at det i prinsippet skulle være mulig å måle jordas hastighet gjennom kvintessensenergien.

I første omgang løste man sammentreffproblemet ved å introdusere universmodeller med kvintessensenergi, og dernest ble også finjusteringsproblemet løst ved hjelp av en versjon av kvintessens kalt k-essens.

Men fortsatt har teorien en viss *ad hoc*-karakter. Energien introduseres i teorien ved å sette opp en lagrangefunksjon som de dynamiske likningene utledes fra. Foreløpig har man ikke greid å utlede formen til denne funksjonen fra en dypere teori. De ulike typene kvintessensenergi har også vært introdusert uten å ta hensyn til kvanteteorien. L. Parker og A. Raval[11] har nylig introdusert vakuumenergi i form av en kvantisert feltenergi. Dette kan oppfattes som en ny type kvantisert kvintessensenergi. En universmodell dominert av slik energi oppfører seg svært likt det univers vi observerer.

Observasjonene som tyder på at universet er i en tilstand av akselerert ekspansjon, har utfordret teoretikerne til å konstruere universmodeller dominert av en form for 'mørk energi' som er jevnt fordelt i universet og som virker på seg selv med frastøtende gravitasjon.[12] Denne type energi ser ut til å ha sammenheng med vakuumets egenskaper. Arbeidene med å konstruere fenomenologisk tilfredsstillende universmodeller dominert av kvintessensenergi – av kosmisk vakuumenergi – kan betraktes som skritt i retning av et mål som enda synes fjernt: å utlede eksistensen og egenskapene til den dominerende energien i universet fra en forent teori for de fundamentale kreftene.

Takk til Per B. Lilje for nyttige kommentarer.

Referanser

1. Ø. Grøn: *Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon?* Fra Fysikkens Verden, **61**, 73–80 (1999)
2. Ø. Grøn: *Relativistiske Universmodeller.* Fra Fysikkens Verden, **56**, 75–83 (1994)
3. Ø. Grøn: *Temperaturfluktuasjoner i den kosmiske bakgrunnsstrålingen.* Fra Fysikkens Verden, **62**, 39–45 (2000)
4. R.R. Caldwell, R. Dave and P.J. Steinhardt: *Cosmological imprint of an Energy Component with General Equation-of-State.* Phys.Rev.Lett., **80**, 1582–1585 (1998)

5. I. Zlatev, L. Wang and P.J. Steinhardt: *Quintessence, Cosmic Coincidence, and the Cosmological Constant.* Phys.Rev.Lett., **82,** 896–899 (1999)

6. C. Armendariz-Picon, V. Mukhanov and P.J. Steinhardt: *Dynamical Solution to the Problem of a Small Cosmological Constant and Late Time Cosmic Acceleration.* Phys.Rev.Lett., **85,** 4438–4441 (2000)

7. C. Armendariz-Picon, V. Mukhanov and P.J. Steinhardt: *Essentials of k-Essence.* Internett *http://xxx.lanl.gov/* Dokument: *astro-ph/0006373*

8. R.R. Caldwell and P.J. Steinhardt: *Quintessence,* Physics World, 31–37, November 2000

9. L. Wang, R.R. Caldwell, J.P. Ostriker and P.J. Steinhardt: *Cosmic concordance and quintessence.* Astrophys. J., **530,** 17–35 (2000)

10. S.O. Sørensen: *Mørk materie.* Fra Fysikkens Verden, **52,** 57–67 (1990)

11. L. Parker and A. Raval: *A New Look at the Accelerating Universe.* Phys.Rev.Lett., **86,** 749–752 (2001)

12. D. Huterer and M.S. Turner: *Probing the dark energy: methods and strategies.* Internett: *http://xxx-lanl.gov/* Dokument: *astro-ph/0012510.*

∞

Kvanteteoriens utvikling – Plancks energielementer

Reidun Renstrøm *

I forrige nummer av Fra Fysikkens Verden markerte vi 100-årsjubileet for kvanteteoriens fødsel med en biografisk artikkel om Max Planck og hans teori. Planck innførte ikke energielementer i sin strålingsteori på grunn av fundamentale problemer innen klassisk fysikk. Energielementene ble derimot innført for å kunne utlede Wiens forskyvningslov på basis av klassiske prinsipper. Her er historien.

På møtet i det Tyske Fysiske Selskap 14. desember 1900 fremla Max Planck sin nye strålingslov. Det teoretiske grunnlaget var statistisk fysikk, termodynamikk, elektrodynamikk og energielementer. Tilhørerne undret seg, for Planck var en kjent motstander av statistisk fysikk og Boltzmanns statistiske tolkning av termodynamikkens 2. lov. Like sikkert som at energien i et lukket system er konstant, var det for Planck at dets entropi aldri kunne avta. Det hadde vært et uttalt mål for Planck å vise at entropiøkning kunne begrunnes ut fra elektromagnetiske prinsipper. Men nå hadde Planck plutselig endret sitt syn og utledet strålingsloven analogt til Boltzmanns utledning av molekylers hastighetsfordeling. Han innførte energielementer, som det var meningen å kvitte seg med senere i utregningene ved å la dem bli infinitesimale, slik Boltzmann hadde gjort, fordi de kun hadde matematisk, ikke fysisk betydning. Men i motsetning til Boltzmann, brøt Planck med statistisk fysikks krav om at et system har kontinuerlig energi, og beholdt energielementene i sluttresultatet. Det var hans eneste mulighet for å få en strålingslov i overensstemmelse med eksperimentelle resultater.

I lærebøkene fremstilles ofte Plancks innføring av energielementer som løsningen av en fundamental vanskelighet i fysikken. Men i 1900 oppdaget verken Planck eller noen andre av samtidens dyktige teoretikere at det var noe galt med klassisk fysikk, og de var ikke fortrolige med statistisk mekanikk, som ennå ikke hadde fylt 20 år. Strålingsloven, som i dag kalles Rayleigh-Jeans lov, utledet fra statistisk fysikk, ble først korrekt fremsatt i 1905. Det er derfor en forvrengning av historien å hevde at Planck innførte energielementer på grunn av den klassiske fysikks feilaktige resultat. Det var Wiens lov, som ikke var utledet etter klassiske prinsipper, som var Plancks problem.

* Høgskolen i Agder

Utviklingen av lovene for sort stråling

Kvanteteoriens forhistorie er lang og innviklet. Historien som her fortelles er forenklet og gir en oversikt over høydepunktene. Vi begynner i 1859 med Gustav Kirchhoffs analyse av varmestråling. På den tiden var det en alminnelig oppfatning blant fysikerne at lysets utbredelse var forstått og beskrevet i teorien, men at mekanismen bak absorpsjon og emisjon av lys, ennå ikke var avslørt. Det var derfor naturlig for Kirchhoff å prøve å forstå varmestråling på grunnlag av termodynamikk, fordi strålingens vekselvirkning med materie ikke inngår i termodynamikkens likninger. Han definerte et sort legeme, som et legeme som absorberer all stråling, som treffer det. Strålingen emittert fra et slikt legeme kalte han sortlegemestråling. Kirchhoff viste videre at strålingen i et hulrom er som om den kom fra et sort legeme. Ved å studere stråling fra et hull i en kasse der strålingen er i termisk likevekt med veggene, kan man eksperimentelt bestemme strålingens totale energi og hvordan energien per volumenhet er fordelt på de ulike frekvensene, strålingens spektraltetthet. Kirchhoff formulerte en lov som uttrykte at spektraltettheten er en universell funksjon av strålingen alene, den er ikke avhengig av formen på hulrommet eller materialet det er laget av, kun av strålingens frekvens og temperatur. Utfordringen til teoretikerne var dermed gitt: Å utlede den universelle funksjonen for spektraltettheten.

Det ville være oppbyggelig, hvis vi kunne veie den hjernemasse, som er blitt ofret på alteret for Kirchhoffs lov, skrev Einstein i 1913. Vi nøyer oss med å presentere fire fysikere, hovedaktørene, i jakten på strålingsloven.

Strålingens totale energitetthet: Stefan og Boltzmann

Ut fra en rekke eksperimentelle resultater "gjettet" Josef Stefan i 1879 på at den totale energitettheten i strålingen er proporsjonal med T^4:

$$u(T) = a\,T^4,$$

der a er en generell naturkonstant.

Betydningen av denne sammenhengen ble klar i 1884 da Ludwig Boltzmann begrunnet den teoretisk ut fra termodynamikk og Maxwells teori, og viste at den kun var riktig for sortlegemestråling (hulromsstråling). Lorentz kalte Boltzmanns bidrag for *En sann perle i teoretisk fysikk.*

Strålingens spektraltetthet: Wien

Wilhelm Wien presenterte i 1893 et resultat som vi kaller Wiens forskyvningslov. Termodynamiske betraktninger på elektromagnetisk stråling gav at spektraltettheten $u(\nu, T)$ er gitt ved tredje potens av frekvensen multiplisert med en funksjon som avhenger av forholdet mellom frekvensen og temperaturen:

$$u(\nu, T) = \nu^3\, f(\nu/T).$$

Målinger fra hulromsstråling viste at $f(\nu/T)$ har et maksimum for en frekvensverdi som er proporsjonal med temperaturen:

$$\nu_m = bT,$$

der b er en ny naturkonstant. Wiens sammenheng blir kalt forskyvningsloven fordi ν_m øker med økende temperatur.

Med Wiens forskyvningslov var grensen for termodynamikkens og elektromagnetismens muligheter til å beskrive hulromsstråling nådd. For å finne et uttrykk for $f(\nu/T)$ må strålingens energiutveksling med materien tas med, og det hadde man ingen teorier om. Mange gjettet og utledet en funksjon, men kun Wiens gjetting var i overensstemmelse med den eksperimentelle erfaringen på den tiden. I 1896 presenterte han et uttrykk for spektraltettheten, som vi kaller Wiens strålingslov, som stemte overens både med Sefan-Boltzmanns "T^4 -lov" og eksperimentelle erfaringer, men hans utledning inneholdt hypoteser som det ikke fantes grunnlag for i teorien.

Wiens strålingslov: Planck

Neste oppgave for fysikere som var konfrontert med Kirchhoffs utfordring, var å begrunne Wiens lov stringent ut fra veletablerte teorier. Det var i denne fasen av utviklingen at Max Planck begynte å interessere seg for hulromsstrålingen, fordi strålingens frekvensfordeling *representerte noe absolutt, og ettersom jeg alltid har betraktet søken etter det absolutte som det høyeste mål for all vitenskapelig aktivitet, gikk jeg ivrig i gang med arbeidet.*

Plancks resultater og arbeid for å finne en stringent utledning av Wiens strålingslov

$$u(\nu, T) = \alpha\nu^3 e^{-\beta\nu/T},$$

der α og β er konstanter, finnes i en rekke avhandlinger fra 1897-1899, alle har samme tittel: *Über irreversible Strahlungsvorgänge.*[1]. Planck var interessert i termodynamikkens 2. lov og irreversibilitet, og hans arbeider går ut på å beskrive den irreversible prosessen som fører strålingen frem til likevektstilstanden. Grunnlaget for beregningene var å la strålingen vekselvirke med harmonisk svingende dipoler, kalt resonatorer. Han så muligheten for at de irreversible prosessene i strålingens energiutveksling med materien kunne begrunne termodynamikkens 2. lov. Like sikkert som at energien i et lukket system er bevart, mente Planck det var at entropien aldri avtar. Enhver teori som ikke tok hensyn til dette, måtte forkastes, hevdet han. I årene 1880 til 1895 gjentok han flere ganger at den kinetiske gassteori ikke besto denne testen, fordi den tolket entropien statistisk, og dermed ikke utelukket entropinedgang.

Nå studerte Planck likevel Maxwells gassteori, kanskje av plikt fordi han var redaktør av Kirchhoffs lærebok, som inneholdt dette emnet. En feil i beviset for Maxwells hastighetsfordeling for molekyler, førte ham ut i en polemikk med Ludwig Boltzmann. Denne episoden gjorde Planck bedre kjent med Boltzmanns ide om molekylær uorden som grunnlag for utledning av entropien.

Boltzmann reagerte skarpt på Plancks første artikkel. Han gjorde Planck oppmerksom på at Maxwells likninger er tidsreversible, og derfor ikke kan begrunne strålingens irreversibilitet. Han anbefalte Planck å tillegge strålingen et statistisk element, noe Planck etter hvert gjorde. Men dette endret ikke Plancks oppfatning av 2. hovedsetning som absolutt. Hans utvikling mot statistisk mekanikk var langsom. Statistisk fysikks grunnlag, atom- og molekylteori for stoff, var ikke allment akseptert og teorien ble derfor ikke innlemmet blant de veletablerte.

Flere enn to tusen år tidligere hadde Aristoteles sett det nødvendig å imøtegå Demokrits atomide ved å definere kontinuitet som en egenskap ved naturen og alle naturfenomener. Denne oppfatningen ble understreket av blant andre filosofene Cusanus, Eckhart, Liebniz og Kant. Blant samtidens fysikere og filosofer var Mach, Ostwald og Duham atomideens sterkeste motstandere. De klassiske teoriene, Newtons mekanikk, Maxwells likninger og senere også Einsteins relativitetsteori, er alle forenlig med Eckharts tese *Natura non facit saltum* (naturen gjør ikke sprang).

Boltzmann følte motstanden mot sine arbeider svært hard, noe han gir uttrykk for i forordet til sin *Gastheorie* fra 1898.[2] Denne situasjon spilte nok en rolle da Boltzmann tok sitt eget liv i 1906.

Etter at Planck hadde anerkjent Boltzmanns kritikk, begynte han forfra igjen. Men han beholdt sin modell med stråling i likevekt med resonatorer. Etter noen meget kompliserte utregninger, fant han en relasjon mellom spektraltettheten og middelenergien til en harmonisk oscillator. Denne relasjonen utledet han fra Maxwells teori alene. Så definerte han en sammenheng mellom en resonators entropi og dens middelenergi. Termodynamikkens 2. lov førte han nå til et uttrykk for spektraltettheten, som var i overensstemmelse med Wiens lov.

Selv hevdet Planck at det valgte entropiuttrykket var det eneste mulige, og at Wiens lov med andre ord var et resultat av termodynamikkens 2. hovedsetning, og at hans mål dermed var nådd. Men han var klar over at han ikke hadde ført noe entydig bevis for entropiuttrykkets entydighet. Det videre arbeidet besto derfor i å prøve å etablere denne entydigheten: *Jeg har gjentatte ganger bestrebet meg på å forandre eller generalisere uttrykket for den elektromagnetiske entropien til en resonator,... slik at det fremdeles tilfredsstiller alle elektromagnetiske og termodynamiske lover, men dette har ikke lykkes meg.*[3]

Plancks strålingslov

Neste utspill i utvikling sto eksperimentalfysikerne for. Planck samarbeidet godt med ekperimetalistene i Berlin, og en av dem, Josef Rubens, ble en av Plancks nære venner. Søndag 7. oktober 1899 var Rubens og hans kone på besøk hos familien Planck. Over tekoppene fortale Rubens at Wiens lov utvilsomt ikke stemte for stråling med høy temperatur og lav frekvens. Nye målinger falt ikke på Wiens kurve.[4] Samme kveld gikk Planck atter en gang løs på problemet. På det årlige møtet til Berlinske Akademi, 19. oktober 1900, der de nye eksperimentelle resultatene ble offentliggjort, kunne Planck presentere en forbedring av Wiens lov. Planck skriver i sin selvbiografi: *Om morgenen neste dag oppsøkte Rubens meg og fortalte, at han etter møtets slutt hele den samme natten nøye hadde sammenliknet min formel med sine måledata, og overalt hadde funnet en tilfredsstillende overensstemmelse*[5].

Fra Fysikkens Verden

62. årgang
2000

Norsk Fysisk Selskap
Oslo 2000

ISSN-0015-9247

Innhold FFV 2000

Nr. 1:

Fra Redaktørene 2
FFV Gratulerer:
Sigve Tjøtta 70 år
K. Dysthe, H. Hobæk og Ø. Holter 2
In Memoriam:
Karl Holberg
Bjørn Landmark og Eivind Thrane 4
Planeter utenfor solsystemet
Øyvind Grøn 5
Drivhuseffekten – myte eller virkelighet?
Ingolf Kanestrøm 10
Fysikkdidaktikk – en mulig beskrivelse
Rolf V. Olsen og Are Turmo 14
Indeks FFV 1999 17
3D med slumppunkter
Svenn Lilledal Andersen og Otto Øgrim 22
Konferanser 25
Bjarne Stugu: Spåtindkonferansen år 2000
Ladislav Kocbach: Niels Bohr – bro mellom to kulturer
Bokomtaler 27
Per F. Dahl: Heavy Water
and the Wartime Race for Nuclear Energy.
Institute of Physics Publishing, 1999.
Stuart Clark: Towards the Edge of the Universe,
A review of Modern Cosmology.
John Wiley and Sons. Praxis Publ. Ltd., 1997.
Nye Doktorer 30
Dr.scient. Anders W. Borgland
Dr.scient. Ole Morten Olsen
Trim i FFV 31
Nytt fra NFS 32
Fysikarmøtet 2000
Årsmøtet 2000
Støtte til deltakelse på Fysikermøtet
Priser til utdeling på Fysikermøtet
Nye medlemmer
Påmelding til Fysikermøtet
Hva skjer 35
Landskonferanse om fysikkundervisning

Nr. 2:

Fra Redaktørene 38
Nytt fra NFS 38
Physics on stage
Temperaturfluktuasjoner i den kosmiske
bakgrunnsstrålingen
Øyvind Grøn 39
Vitensentre i Norge:
Kan de fostre framtidens fysikere?
Ellen K. Henriksen 46
Elevers forståelse av kvantefysikk
Rolf V. Olsen 50
Forskere, media og samfunnet
Sunniva Siem 55
Fysikk i skolen 58
Carl Angell og Anders Isnes:
Fysikk i Norge og i noen EU-land
Bokkronikk: Olav Njølstad: Strålende forskning;
Institutt for energiteknikk 1948–1998.
Tano Aschehoug, 1999.
Trygve Holtebekk 60
Hva skjer 62
Nytt realfagbygg i Trondheim
Trim i FFV 63
Sommernøtter
Nye Doktorer 64
Dr.ing. Eyvind Aker
Dr.scient. Gunnar Arisholm
Dr.scient. Jostein Dahle
Dr.scient. Kåre Langaas
Dr.scient. Odd Magne Øgreid
Dr.scient. Nikolai Østgaard

Nr. 3:

Fra Redaktørene 70
FFV Gratulerer:
Tore Olsen 70 år
Bjørn Pedersen m.fl. 70
Birkelandprisen til Asle Sudbø
Redaksjonen 72
Niels Bohr – Fysikk og komplementaritet
Haakon Olsen 73
Kvantefysikkens status i skolen
Rolf V. Olsen 79
Litt om treghetskrefter
Christian Callin 83
Konferanser 85
Finn Ingebretsen:
Landskonferansen om fysikkundervisning
E.K. Henriksen, A. Isnes og C. Angell:
Konferanse om fysikkutdanning i Barcelona
Bokomtale 89
Frank Close: Lucifer's Legacy –
The meaning of Assymmetry.
Oxford University Press, 2000.
Nye Doktorer 90
Dr.ing. Berit Margrethe Hasle Falck
Dr.ing. Gudrun Kristine Høye
Dr.ing. Inger Lindseth
Dr.ing. Erlend Rønnekleiv
Dr.scient. Andreas Schiller
Dr.scient. Ingve Simonsen
Dr.scient. Olaf Skjæraasen
Dr.scient. Kjersti Karlsen Tørnkvist
Fysikknytt 94
Farid Ould-Saada: Første evidens for tau-nøytrinoet
Trim i FFV 95
Løsningsforslag til Sommernøtter
Nytt fra NFS 97
Fysikermøtet 2000
Årsmøtet 2000
Nye medlemmer
Hva skjer 99
Bjørn Wiik professorat

Nr. 4:

Fra Redaktørene 102
FFV Gratulerer:
Sven Oluf Sørensen 80 år
T. Jacobsen m.fl. 102
Fysikknytt 103
L. Bugge og A. Read: Ser vi Higgsbosonet ved LEP?
Nobelprisen i fysikk 2000 103
Einar Johan Aas: Integrerte kretser
Aasmund Sudbø: Heterostrukturar i halvleiarar
Heterostrukturar i halvleiarar
Aasmund Sudbø 106
Wolfgang Ernst Friederich Pauli (1900–1958)
Haakon A. Olsen 110
Max Planck og hans teori –
Kvantefysikken har 100-årsjubileum
Finn Ingebretsen 114
FUN – En undersøkelse om fysikkutdanning i Norge
E.K. Henriksen, C. Angell og A. Isnes 118
Konferanse 123
R. Valestrand og K. Oksavik: ICPS 2000 i Kroatia
Bokomtaler 125
O. Øgrim og B.E. Lian: Fysiske størrelser og enheter
– navn og symboler. Universitetsforlaget, 2000.
Ordbok for fysikk og kjemi til skolebruk.
Norsk språkråds skrifter Nr. 7, 2000.
Fysikksnutter 126
S.L. Andersen og O. Øgrim: Dråpemor og dråpebarn
Nye Doktorer 127
Dr.ing. Christian Brekken
Dr.scient. Einar Dale
Dr.ing. Audun Ramstad
Trim i FFV 129
Hva skjer 131
Fysikermøtet 2001
Nytt fra NFS 131
Priser til utdeling
Nye medlemmer

∞

Forfatterregister 2000

Andersen, Svenn Lilledal og Otto Øgrim:
3D med slumppunkter 22
Andersen, Svenn Lilledal og Otto Øgrim:
Fysikksnutter: Dråpemor og dråpebarn 126
Angell, Carl og Anders Isnes:
Fysikk i skolen: Fysikk i Norge og i EU-land 58
Borg Anne:
Hva skjer: Fysikermøtet 2001 130
Bruvoll, Heidi:
Nytt fra NFS: Physics on stage 38
Bugge, Lars og Alex Read:
Fysikknytt: Ser vi Higgsbosonet ved LEP? 103
Callin, Christian:
Litt om treghetskrefter 83
Dysthe, Kristian, Halvor Hobæk og Øivin Holter:
Sigve Tjøtta 70 år 2
Fidje, Tor:
Innsendt løsning til FFVT 3/00 a) 130
Gjötterud, Kristoffer:
Bokomtale: Otto Øgrim og Bjørn Ebbe Lian:
Fysiske størrelser og enheter – navn og symboler.
Universitetsforlaget, 2000 125
Grøn, Øyvind:
Planeter utenfor solsystemet 5
Grøn, Øyvind:
Temperaturfluktuasjoner i den kosmiske
bakgrunnsstrålingen 39
Hellesø, Olav Gaute:
Nytt fra NFS: Fysikarmøtet 2000 32
Henriksen, Ellen K.:
Vitensentre i Norge:
Kan de fostre framtidens fysikere? 46
Henriksen, Ellen K., Anders Isnes og Carl Angell:
Konferanse om fysikkutdanning i Barcelona 88
Henriksen, Ellen K., Carl Angell og Anders Isnes:
FUN – En undersøkelse om fysikkutdanning
i Norge 118
Holtebekk, Trygve:
Bokomtale: Per F. Dahl: Heavy Water
and the Wartime Race for Nuclear Energy.
Institute of Physics Publishing, 1999 27
Holtebekk, Trygve:
Bokkronikk: Olav Njølstad: Strålende forskning.
Institutt for energiteknikk 1948–1998.
Tano Aschehoug, 1999 60
Ingebretsen, Finn:
Landskonferansen om fysikkundervisning 85
Ingebretsen, Finn:
Bokomtale: Frank Close: Lucifer's Legacy –
The meaning of Asymmetry.
Oxford University Press, 2000 89
Ingebretsen, Finn:
Max Planck og hans teori –
Kvantefysikken har 100-årsjubileum 114
Ingebretsen, Finn:
Bokomtale: Ordbok for fysikk og kjemi til skolebruk.
Norsk språkråds skrifter Nr. 7, 2000 126
Jacobsen, Tor m.fl.:
Sven Oluf Sørensen 80 år 102
Kanestrøm, Ingolf:
Drivhuseffekten – myte eller virkelighet? 10
Knutsen, Henning:
Bokomtale: StuartClark:
Towards the Edge of the Universe,
A review of Modern Cosmology.
John Wiley and Sons, Praxis Publ. Ltd. 1997 29
Kocbach, Ladislav:
Konferanse: Niels Bohr – bro mellom to kulturer,
Oslo 22–23. oktober 1999 26
Landmark, Bjørn og Eivind Thrane:
Karl Holberg in memoriam 4
Mork, Kjell:
Hva skjer: Nytt realfagbygg i Trondheim 62
Olsen, Haakon:
Niels Bohr – Fysikk og komplementaritet 73
Olsen, Haakon A.:
Wolfgang Ernst Friederich Pauli (1900–1958) 110
Olsen, Rolf V.:
Elevers forståelse av kvantefysikk 50
Olsen, Rolf V.:
Kvantefysikkens staus i skolen 79
Olsen, Rolf V. og Are Turmo:
Fysikkdidaktikk – en mulig beskrivelse 14
Ould-Saada, Farid:
Fysikknytt: Første evidens for tau-nøytrinoet 94
Pedersen, Bjørn m.fl.:
Tore Olsen 70 år 70
Siem, Sunniva:
Forskere, media og samfunnet 55
Stapnes, Steinar:
Nytt fra NFS: Fysikermøtet 2000 97
Stapnes, Steinar og Heidi Bruvoll:
Nytt fra NFS: Årsmøtet 2000 98
Stugu, Bjarne:
Spåtindkonferansen år 2000 25
Sudbø, Aasmund:
Nobelprisen i fysikk: Heterostrukturar 105
Sudbø, Aasmund:
Heterostrukturar i halvleiarar 106
Vistnes, Arnt Inge:
Trim i FFV: Sommernøtter 63
Vistnes, Arnt Inge:
Løsningsforslag til Sommernøtter 95
Valestrand, Randi og Kjellmar Oksavik:
Konferanse: ICPS 2000 i Kroatia 123
Aas, Einar Johan:
Nobelprisen i fysikk: Integrerte kretser 103

∞

Men Planck var klar over at hans nye strålingslov ikke hvilte på et sikkert teoretisk fundament. 14. desember begrunnet Planck sin strålingslov ut fra statistisk fysikk og ved å føre inn et helt nytt element i fysikken, energielementer. I sitt nobelforedrag beskrev Planck arbeidet i perioden mellom 19. oktober og 14. desember som *det mest hektiske i mitt liv* og at det *av seg selv* førte ham til Boltzmanns sammenheng mellom entropi og sannsynlighet. Både på møtet den 14. desember og i senere utledninger refererte han til en artikkel av Boltzmann fra 1877. Det er også sannsynlig at Planck hentet inspirasjon til ideen om å kvantisere resonatorenergien fra dette arbeidet til Boltzmann. Planck delte resonatorer inn i grupper med samme frekvens. Han antok at energien E_N som skal fordeles på resonatorene er sammensatt av P diskrete energielementer ϵ, $E_N = P\epsilon$, og definerte en kompleksjon som en bestemt fordeling av energielementer på resonatorene. Han beregnet det totale antall kompleksjoner kombinatorisk, og innførte en sammenheng mellom en kompleksjons sannsynlighet og dens entropi. I foredraget fra 14. desember, skriver Planck: *Når energien E_N anses som en ubegrenset delbar størrelse, er fordelingen mulig på uendelig mange måter. Vi betrakter imidlertid – og dette er det vesentlige punktet i hele beregningen – E_N som sammensatt av et helt bestemt antall endelige like deler og benytter for dette formålet naturkonstanten $h = 6,55 \cdot 10^{-27}$ erg s. Denne konstanten multiplisert med frekvensen ν gir energielementet ϵ, og ved å dividere E med ϵ får vi antall energielementer P som fordelses på N resonatorer. Når forholdet E/ϵ ikke er et helt tall, kan man for P velge det nærmeste hele tallet.*[6]

Kvantiseringen gav Planck konstanten h, og dermed en strålingslov som stemte med erfaringen. Energielementet ϵ, som fordeles på resonatorer med frekvens ν, fikk verdien $\epsilon = h\nu$.

Plancks strålingslov, utledet på grunnlag av Boltzmanns statistiske uttrykk for entropien og hypotesen om energikvanter, er gitt ved:

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}.$$

Samtidens reaksjon på Plancks arbeid

Selv om Plancks strålingslov stemte med eksperimentelle resultater og også muliggjorde bestemmelse av noen fysiske konstanter, fikk hans arbeid lite oppmerksomhet. Problemet Planck løste ble ikke oppfattet som en fundamental vanskelighet i fysikken. Først mange år senere kan man lese at kvantemekanikken oppsto på ruinene av en sammenbrutt klassisk fysikk, et synspunkt det ikke er mye hold i. Plancks arbeid løste et av mange problemer, som interesserte datidens fysikere. Blant interessante problemer var røntgenstråler, radioaktivitet, elektronet, radium osv.

Det er heller ingen tvil om at Plancks anvendelse av statistisk fysikk ikke falt i god jord blant energetikerne, som var motstandere av atomteorien, og nektet derfor betydningen av en disiplin som statistisk fysikk.

Den første som for alvor tok kvantehypotesen opp var Albert Einstein med sin avhandling fra 1905: *Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt.*

Takk

Kristoffer Gjötterud og Ole Knudsen har lest artikkelen. Jeg er takknemlig for deres kritikk og råd.

Referanser

1. M. Planck: Physikalische Abhandlungen und Vorträge, Band 1, 493–600 (1899)
2. L. Boltzmann: *Vorlesungen über die Gastheorie, Vol. 2.* Leipzig (1898)
3. M. Planck: *Physikalische Abhandlungen und Vorträge, Band 1,* 560–600
4. F. Ingebretsen: *Max Planck og hans teori – Kvantefysikken har 100-årsjubileum* Fra Fysikkens Verden **62** Nr. 4, 114–117 (2000)
5. *Scientific Autobiography.* Philosophical Library, New York (1949)
6. D. Ter Haar: *The Old Quantum Theory.* Pergamon Press (1967)

Generelle kilder

1. O. Darrigol: *From c-Numbers to q-Numbers.* University of California Press (1992)
2. M. Klein: *Max Planck and the Beginnning of the Quantum Theory.* Archive History Exact Sciences 1, (1962)
3. A. Pais: *Subtle is the Lord.* Oxford University Press (1982)
4. Phillip Stehle: *Order, Chaos, Order.* Oxford University Press (1994)
5. F. Aaserud: *Plancks Energikvantbegrep.* Hovedoppgave i fysikk, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo (1976)

∞

Fysikknytt

Lys kan stoppast

I 1675 viste Ole Rømer at lyset brukte endeleg tid frå Jupiter til Jorda, og dette var den fyrste oppdaginga som gjorde at ein kunne bestemme lysfarten. Nå har ein annan danske, Lene Vestergård Hau, som er professor ved Harvard, stoppa lys!

Dette høyrest meiningslaust ut – kva i all verda kan vera lys dersom det ikkje flytter på seg – men det er det ikkje. Kvantemekanikken har ennå ein gong vist at han inneheld moglege eigenskapar som vi ikkje har tenkt på kunne verifiserast før nå i det siste. Det nye tusenåret (for dei som tel tida frå 1 som i FORTRAN) har starta med ein sensasjon!

Alle veit at i materie går lyset seinare enn i vakuum. Farten er c/n, der n er brytingsindeksen i mediet. Men at lyset, som forplantar seg med foton som ikkje har kvilemasse, kan leggast i ro, høyrest sterkt ut. Så la oss prøve å forklare på ein enkel måte det som er observert.

Mediet er ei samling natriumatom som er kjølt ned til 0,9 millikelvin. Dette mediet er slik at det normalt er ugjennomtrengeleg for lys: Det er "svart". Men dersom ein sender lys av rett frekvens inn på det blir det transparent. Lyset som fører til denne elektromagnetiske induserte tranparensen (EIT) kjem frå ein laser som vi kan kalle Laser-A. Dette mediet oppfører seg altså motsett av solbriller med fotogrå linser. Dei blir mørke når dei får lys på seg.

I 1999 viste Lene Hau og samarbeidspartnarane hennar at lyset gjekk berre 17 meter i sekundet i eit slikt medium. Dette er mindre enn 10^{-7} gongar lysfarten i vakuum. Ein laserpuls, som kjem frå ein annan laser enn Laser-A, med lengde på 3,4 km som blir sendt inn i mediet, blir såleis stuva saman til ei lengde som er mindre enn 0,34 mm, og får plass inne i samlinga av natriumatom (mediet).

Dersom Laser-A står på når pulsen går inn, kjem pulsen ut att omtrent uendra på andre sida av mediet, med ei forseinking som svarar til den reduserte farten han hadde i mediet. Det er greitt.

Dersom ein slår av LaserA medan pulsen er inne i mediet, slik at mediet ikkje lenger er transparent, kjem det naturleg nok lite eller ingenting ut. MEN dersom ein etter å ha venta ei tid slår Laser-A på att, så kjem lyspulsen ut att nett som om han hadde ligge i ro den tida mediet var ugjennomsiktig! Det er rett nok slik at amplituden til pulsen som kjem ut minkar med aukande lagringstid.

Kva har så skjedd inne i mediet? Det er ikkje slik at lyset har vorte kasta att og fram der inne. Nei, det er nok rettare å seia at lyset har vore borte, det. All informasjon som var i lyset hadde gått over på natriumatomsystemet og vorte lagra der i ein koherent tilstand, slik at den tilstanden kunne reverserast attende til lys under påverknaden av Laser-A. Dette er konsistent med det faktum at den tida lyset kan lagrast i eksperimentet er omtrent eitt millisekund, og middeltida mellom atomære kollisjonar i mediet er omtrent 0,5 millisekund.

Originalartikkelen finn du i Nature, Vol. 409, side 490 (25. januar 2001).

Hallstein Høgåsen
Fysisk institutt, UiO

∞

Fra Fysikkens Historie

Kjernefysikk i Norge – Arven fra Johan Holtsmark og Roald Tangen

Norsk kjernefysikk har de senere år vært inne i en vanskelig periode. Den aktuelle forskningspolitikken synes å ha fått det for seg at kjernefysikken skal "avvikles" – som vel måtte bety at undervisningen og forskningen skulle nedlegges, at kjernefysikken er "umoderne". Det er nok å ta et blikk inn i internasjonal aktivitet for å se at dette er feil. Norsk kjernefysikk bør utvilsomt ha en rik fremtid foran seg, i takt med den internasjonale aktiviteten innenfor området.

Norsk kjernefysikk har sitt utgangspunkt i byggingen av den første Van de Graaff-akseleratoren fra 1934 til 1936. Denne artikkelen handler om dem som startet og gjennomførte dette imponerende prosjektet, Johan Holtsmark og Roald Tangen. Det startet i Trondheim.

Johan Holtsmark var blitt utnevnt til professor i fysikk ved Norges Tekniske Høgskole allerede i 1923 etter Sem Sæland som den andre professor i fysikk ved NTH. Holtsmark hadde arbeidet ved forskjellige forskningssentra i Tyskland. Han hadde doktorgrad i fysikk fra 1918, og ønsket å starte en forskningsvirksomhet i kjernefysikk i Trondheim. Med hjelp av Odd Dahl ved Carnegie Institution of

Washington og en rekke elektro- og kjemiingeniører som ble ansatt som privatassistenter, lyktes det han å få bygget en halvt million volt Van de Graaff-akselerator som ble ferdig i 1936. I 1937 tilbød Holtsmark den unge svakstrømingeniøren Roald Tangen stilling som assistent i fysikk. Betingelsen var at Tangen skulle delta i eksperimenter ved den nye Van de Graaff-akseleratoren. Tangen mestret ikke bare de ingeniørmessige utfordringene som lå i å drive maskinen, men også overgangen til det nye forskningsområdet – som også var et helt nytt forskningsområde internasjonalt – på en glimrende måte. Dette ble invitasjonen til Tangen inn i kjernefysikken – et fagområde som skulle bli hans forskningsområde for all fremtid.

Det må sies å være bemerkelsesverdig at man ved Norges Tekniske Høgskole på den tiden kunne kjøre eksperimenter med denne nye Van de Graaff-generatoren som var fullt på høyde med de beste internasjonalt – innenfor eksperimentell kjernefysikk, den tids eksotiske fysikk. Den nye Van de Graaff-maskinen planlagt og bygget under ledelse av Holtsmark var på den tid den første i Nord-Europa.

Tangen ble etter hvert leder for eksperimentene med de høyenergetiske protonene. Han stod også for det som eksperimentalfysikere i frontlinjeforskning ofte må gjøre, også i dag. Han konstruerte selv sin egen måleapparatur og prepparerte selv sitt target. Nå kunne fysikkforskningen ta til. Den gikk ut på å studere innfanging av de akselererte protoner i atomkjernen i target. Kjernene fanger inn protoner i spesielle energinivåer – resonanser. Det var forutsagt av Niels Bohr – som hadde påvist elektronenerginivåer i atomene tidligere. Tangen utførte i de påfølgende år et pionerarbeid med påvisning av kjerneresonanser. Dette ble hans spesialområde innenfor kjernefysikken.

Så skjedde det i 1942 at Holtsmark ble utnevnt til professor ved Universitet i Oslo. Også dette hadde konsekvenser for Tangen. Han valgte å følge med til Oslo, sikkert også etter anmodning fra Holtsmark. Siden disse to utgjorde storparten av kjerneforskningsgruppen, valgte de a ta med seg Van de Graaff-generatoren til Universitet i Oslo. Dette var utvilsomt et tap for Trondheim, og en tilsvarende gevinst for Oslo – der det knapt fantes eksperimentell kjernefysikk.

Tangen bygde opp et kjernefysikklaboratorium omkring Van de Graaff-akseleratoren på Blindern og fortsatte sine eksperimenter i krigsårene i den utstrekningen forholdene tillot det.

Etter krigen var kjernefysikk blitt et sentralt forskningsfelt. De første hovedfagsstudenter i faget meldte seg, og en forskningsgruppe tok form under Tangens ledelse. Han ble også kalt til Niels Bohr instituttet for å bistå med bygging av en større akselerator og for å delta i eksperimentene der. Eksperimentene, protonresonanser i aluminiumkjerner, var presisjonsmålinger som fikk stor betydning innenfor den fremstormende forskning i kjernefysikk.

Tangen ble etter hvert amanuensis etter å ha hatt forskerstilling over flere år. Nå syntes det igjen som om NTH skulle få nyte godt av Tangens kunnskaper og erfaring. I 1948 tok han doktorgraden i fysikk ved NTH på en avhandling om protoninnfangning i lette atomkjerner – hans forskningsområde over flere år. Og han ble samme år utnevnt til professor ved NTH. I disse årene 1946–1950 fikk instituttet sterke tilvekster på forskersiden ved at foruten Tangen ble etter hvert Harald Wergeland, Sverre Westin og Njål Hole utnevnt til professorer.

Tangen tok straks fatt på å bygge en ny og større Van de Graaff-generator i Fysisk institutts bygning. Samtidig foresto han byggingen av en lignende maskin på Blindern. I disse årene hadde han nær kontakt med Blindern-miljøet, samtidig som han arbeidet for kjernefysisk forskning ved NTH. Men på nytt tapte Trondheimsmiljøet: I 1952, etter bare fire år i Trondheim, ble Tangen utnevnt til professor i eksperimentalfysikk ved Universitet i Oslo. Man kan vel si at etter dette var det slutt med akseleratorbasert kjernefysikk ved NTH. Mens Tangens tiltredelse i Oslo var en begivenhet som fikk avgjørende betydning for norsk kjernefysikk.

Tangens akselerator i Oslo sto ferdig kort etter hans tiltredelse, og ble hovedinstrument for norsk kjernefysikk til langt ut i 1970-årene, både i forskning og i undervisning av et stadig økende antall interesserte og arbeidsvillige studenter. Forskningsgruppen med vitenskapelige resultater oppnådde etter hvert internasjonal anseelse under Tangens ledelse. Samtidig var kjernefysikken utgangspunktet for videreføring til forskning innenfor partikkelfysikk – senere akseleratorbasert partikkelfysikk ved CERN.

Innebygget i historien er beretningen om hvordan det gikk til at NTH ikke ble et nasjonalt senter for kjernefysikk – den mest dybtgående forskning i 40–50-årets studier av materiens struktur. Så var det godt at Universitet i Oslo drev frem norsk kjernefysikk basert på pionerinnsatsen av Holtsmark og Tangen i 30-årene i Trondheim.

Denne historien er bl.a. basert på arkivmateriale fra arkivet *NTH-Fysisk institutt* ved Statsarkivet i Trondheim.

Beretninger om akseleratorprosjektet og eksperimentene finnes i *Norges Tekniske Højskoles fond, Årsberetninger* 1936–1942. Akseleratoren ble beskrevet i Johan P. Holtsmark, Roald Tangen og Harald Wergeland: *A High Voltage Plant for Nuclear Investigation,* DKNVS Skrifter no. 6, 1938. Roald Tangens doktoravhandling er publisert som: Tangen, R.: *Experimental Investigations of Proton Capture Process in Light Elements,* DKNVS Skrifter no. 1, 1946. Historien om Van de Graaff-akseleratorprosjektet finnes også i Roland Wittje: *Local Factors of the Van de Graaff Generator Project at the Norwegian Institute of Technology in the mid 1930's,* proceedings of the XVIII International Scientific Instrument Symposium in Moscow 1999, under trykking, og Roland Wittje: *From the beginnings of nuclear physics in Norway – the Van de Graaff proton accelerator at the Norwegian Institute of Technology in the 1930's,* Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab Forhandlinger 2000, under trykking.

Haakon Olsen og Roland Wittje
Institutt for fysikk, NTNU

∞

Kommentar

Treghetskrefter i Sofies verden

I FFV 3/00 skriver Christian Callin om treghetskrefter, med utgangspunkt i en eksamensoppgave i 3FY. Jeg lar meg friste til en kommentar.

Oppgaven går ut på å gi en fysikkfaglig kommentar til understrekede deler av et tekstutdrag fra Jostein Gaarders "Sofies verden". Utdraget er en del av en dialog mellom bokens hovedpersoner, den unge Sofie og den mystiske veileder, Alberto Knox; og jeg gjengir det her:

S: *Er det to forskjellige krefter som virker på månen?*

A: *Akkurat. En gang da solsystemet oppstod, ble månen slynget av gårde – og altså vekk fra Jorden – med voldsom kraft. Denne kraften vil den ha i all evighet fordi den beveger seg i et lufttomt rom uten motstand.*

S: *Men så blir den også trukket mot Jorden på grunn av Jordens tyngdekraft?*

A: *Nettopp. Begge de to kreftene er konstante – og begge virker samtidig. Derfor vil månen fortsette å gå i bane rundt jorden.*

S: *Er det virkelig så enkelt?*

Det er nærliggende å tro at oppgaveforfatterne har vært inspirert av Steinsvold og McCauleys artikkel i FFV 3/95, der nettopp denne teksten kritiseres. En vesentlig del av deres kritikk var rettet mot utsagnet om månens opprinnelse, men det var altså ikke tema i eksamensoppgaven, og er ikke berørt i Callins artikkel. Callin peker på at bare treghetssystemer, og ikke roterende/akselererte referansesystemer hører til i pensum for 3FY. Da er jeg tilbøyelig til å mene at en fagkritisk oppgave som dette setter vel store krav til elevenes modenhet, skjønt utsagnet om at et legeme skal "beholde" en kraft det engang har "fått", burde være greit å håndtere. Derimot synes jeg Callin går utilbørlig langt i sitt forsvar av Gaarders fysikkforståelse, som han avslutter med at "Gaarder er i sin fulle rett når han velger den akselererte månen som referansesystem". Jeg må innrømme at jeg ikke helt forstår hva Callin mener med "den akselererte månen som referansesystem", og jeg ser det ikke sannsynliggjort at Gaarder i det hele tatt har gjort noe bevisst valg av referansesystem.

I denne sammenheng skulle det være unødvendig å diskutere treghetskrefter i lys av generell relativitetsteori og kosmisk bakgrunnsstråling. Treghetskrefter, som sentrifugalkraft og corioliskraft, er i klassisk mekanikk hjelpestørrelser, som vi introduserer fordi vi ønsker å bruke Newtons mekanikk i referansesystemer der den ikke har gyldighet. Dette er avgjort hensiktsmessig, for det gjør mange beregninger lettere, men vi bør ha klart for oss hva vi gjør. Hvis også jeg skal være velvillig overfor Gaarders fremstilling, vil jeg si at hans forestilling om to krefter i balanse kan gjelde hvis vi antar at månen går i en sirkulær bane rundt jorden (hvilket jo er en vanlig populær fremstilling og en rimelig god tilnærmelse), og vi beskriver bevegelsen i et plan gjennom jordens og månens massesentra, normalt på månens baneplan. Dette planet vil da rotere med konstant vinkelhastighet i forhold til et inertialsystem med origo i jordens sentrum. I dette systemet vil månen være utsatt for to krefter: tyngdekraften fra jorden, og en like stor, motsatt rettet sentrifugalkraft. Men i dette referansesystemet går ikke månen i bane rundt jorden; den står i ro!

Hvis vi betrakter en elliptisk månebane blir en tilsvarende beskrivelse langt mer komplisert, og oppgaveforfatteren kunne ha gjort det litt lettere for elevene ved å ta med Albertos neste replikk i dialogen, med passende understrekninger:

A: *Så enkelt er det... Når to krefter virker samtidig på et legeme, vil legemet bevege seg i en ellipseformet bane.*

Da opphører imidlertid min smule velvillighet – og Gaarders manglende forståelse av fysikken blir åpenbar.

Jostein Gaarder har skrevet en bok som har fått mange mennesker, og ikke minst mange unge mennesker til å interessere seg for filosofi. Det er fortjenstfullt. Det må imidlertid ikke avholde oss fra å fremføre berettiget kritikk. Det ville heller ikke være i bokens ånd. (Tenk selv, Sofie!)

Olav Holt

∞

Bokomtaler

Charles Ruhla: The Physics of Chance. Oxford University Press, 1992 (220 sider).

Fra Blaise Pascal til Niels Bohr

Fra tid til annen opplever vi at fysikere med lang fartstid setter seg ned og fester sin lange erfaring og sine tanker om fysikk, på papiret. Av og til blir dette også til en bok; på en måte et slags vitenskapelig og erkjennelsesmessig testamente. I slike arbeider fremtrer gjerne den reflekterte naturfilosof i langt større grad enn det vi vanligvis får fra penner ført av yngre hender.

Den foreliggende boka, med den mulige oversatte tittelen "Sannsynlighetens fysikk", er et arbeid av denne typen. Forfatteren, professor Charles Ruhla, startet sin karriere i teoretisk kjernefysikk som han senere forlot for å gå inn for et "continuing education"-program ved Claude-Bernard Universitetet (Lyons-1), Frankrike. Med denne bakgrunnen; et mangeårig arbeid med etterutdanning og voksenopplæring i fysikk, har han skrevet en bok om den fascinerende utviklingen av sansynlighetens fysikk, fra Pascal og Fermat fram til Bohr og Einstein. Hans mål har vært å nå ut til en bred krets av lesere som har ett til felles: nysgjerrighet på og interesse for fysikk. Boka kom ut allerede i 1989 med tittelen: *La physique du hasard: de Blaise Pascal á Niels Bohr.* Den engelske versjonen som er anmeldt her er oversatt av G. Barton.

Med det ambisiøse mål å skrive forståelig for ikke-spesialister om et fag som tradisjonelt er så stekt forankret i matematikkens språk, kan synes nesten håpløst. Men forfatteren greier denne utfordrende oppgaven meget bra. Det må med en gang understrekes at bøker av denne typen ikke er lettlest underholdningslitteratur, selv om Ruhla har begrenset bruken av matematikk til et nivå som enhver oppegående elev i den videregående skole kan følge med på. De mer detaljerte utledningene er samlet i appendikser. Ja, selv appendiksene burde være forståelige, selv om de utfordrer konsentrasjonsevnen i noe større grad. Som et alternativ til omfattende matematiske utledninger beskriver han flere steder eksperimenter og anviser numeriske prosedyrer (for lommekalkulator) som illustrasjoner og pedagogisk tilnærming. Enhver fysikkpedagog burde ha stort utbytte av å se hans fremstilling av dette stoffet.

Boka handler om hvordan sannsynlighetsteori og statistikk, utviklet av matematikere som Pierre Simon de Fermat, Blaise Pascal, Christian Huygens og Jacob Bernoulli på midten av 1600-tallet, og Karl Friedrich Gauss vel 100 år senere, har fått en stadig viktigere plass i fysikken. Bruk av statistikk og begrep fra sannsynlighetsteori var helt avgjørende for Maxwell og Boltzmanns utvikling av kinetisk gassteori, den gang som nå primært som en praktisk nødvendighet. Ruhla beskriver hvorledes denne delen av fysikken etter hvert ble stadig viktigere, også av mer prinsippielle grunner.

Boka begynner med et sitat av Demokrit: "Alt som eksisterer i universet er et resultat av tilfeldighet og nødvendighet." Denne ca. 2400 år gamle sannhet til tross ble statistikk i beskrivelsen av fysiske system ikke tatt alvorlig før spillteori ble utviklet på midten av 1600-tallet. Helt fra renessansen har hovedtyngden ligget på det vi kan kalle nødvendighetens fysikk, eller deterministisk fysikk.

Den klassiske deterministiske fysikk har imidlertid flere avgjørende begrensninger. For det første er antall frihetsgrader i mange fysiske systemer så stort at statistiske metoder er en praktisk nødvendighet. For det andre er mange virkelige makroskopiske systemers utvikling i tid kritisk avhengig av startbetingelsene, selv om antall frihetsgrader er få. Dette har ført til utviklingen av teorien for "deterministisk kaos". Og for det tredje gjelder ikke den klassiske fysikk for atomære og subatomære systemer, der sannsynlighetsbegrepene er av fundamentalt prinsippiell natur.

Ruhla starter med å gå skritt for skritt igjennom sentrale emner i sannsynlighetsteori. Deretter føres leseren inn i grunnleggende måleteori. Fremstillingen er i stor grad kronologisk. Han tar for seg den klassiske statistiske teori, slik den ble utviklet i forrige århundre, med hovedvekt på Maxwells og

Boltzmanns revolusjonerende arbeider, som begge er viet hvert sitt kapittel. Kapitlet om Maxwell har, illustrerende nok, undertittelen *Probabilities as a matter of ignorance* (sannsynligheter som en konsekvens av uvitenhet). Maxwells kinetiske gassteori fra 1859 var revolusjonerende på to måter. For det første var den en erkjennelse av at gassen består av enkeltdeler, dvs. atomer. Dette var et viktig skritt mot den endelige generelle aksepter-ing av materiens atomære oppbygging, 50 år senere bekreftet av Albert Einsteins teori for, og Jeans Perrins målinger av, Brownske bevegelser. For det andre var den en erkjennelse av at det ikke var praktisk mulig eller overkommelig å beskrive en gass ved hvert enkelt atoms individuelle bevegelse. Maxwell mente at hans antakelse om at atomenes posisjon og hastighet er tilfeldig fordelt, var tilstrekkelig for å kunne beregne middleverdien av de makroskopiske variable, hvilket han da også lyktes med.

Kapitlet om Boltzmann har undertittelen *Probabilities as a matter of conviction* (sannsynligheter som følge av overbevisning).

Boltzmann generaliserte Maxwells ide med den overbevisning at dette kunne anvendes på mange flere områder enn for ideelle gasser. Han la derved grunnlaget for det som i dag kalles statistisk mekanikk. Hans utledning av det statistiske uttrykket for entropi var en banebrytende erkjennelse (denne formelen skal være inngravert på hans gravstøtte).

Poincaré, fransk matematiker og filosof, publiserte i 1892 er arbeid med tittelen *Méthodes nouvelles de la mécanique céleste* (nye metoder i celest mekanikk), der han startet utviklingen av det som i dag kalles deterministisk kaos. Det opprinnelige problem var løsningen av trelegemeproblemet, der Poincaré viste at det ikke var mulig å finne en generell analytisk løsning. Han viste at for mange systemer er utviklingen i tid så følsom for startbetingelsene at en beskrivelse synes umulig. Dette beskriver Ruhla med et par enkle eksempler, for så å gi en elementær innføring i teorien for kaotiske systemer. De viktigste begrepene blir gjennomgått, med et avsluttende appendiks med smakebiter om fraktaler. Fremstillingen er systematisk og logisk bygget opp, og gir et godt førstegangs innblikk i teorien.

Med kvantemekanikken fikk begrepet 'sannsynlighet' en fundamental betydning i fysikken. Kapitlet om Bohr har undertittelen *Chance unavoidable* (uungåelig tilfeldighet). Konsekvensene av denne teorien var så revolusjonerende at diskusjonene om interpretasjon og gyldighet har pågått i mesteparten av det tjuende århundret. Ruhla går systematisk igjennom fenomenet enkeltfoton-interferens – en tankemessig merkverdighet som kun kan beskrives ved hjelp av kvantemekainkk – som i sin tid avstedkom stor diskusjon, som igjen førte til dypere erkjennelse. Her lar Ruhla "Monsieur de La Palice", en fransk variant av den naive men ærlige person, stille de umiddelbare spørsmål og så analysere fenomenet for leseren. Her gjennomgås viktige begrep og egenskaper ved kvantemekanikken, og dette legger grunnlaget for bokas klimaks: kapitlet om useparable fotoner, eller EPR-paradokset.

Diskusjonen omkring EPR-paradokset er vel kanskje den mest berømte diskusjon i fysikkens historie (se H. Andås og K. Gjøtterud: Kvanteteorien – Er den fullstendig? Fra Fysikkens Verden, nr. 4, 1987; og J.M. Leinaas: EPR-paradokset, Bells teorem og Aspects forsøk, FFV nr. 2, 1989). EPR er en etikett som er knyttet til paradokset fra en berømt artikkel av Einstein, Podolsky og Rosen i 1935, der de mener å påvise kvantemekanikkens ufullstendighet. Ruhla gir en glimrende fremstilling av problemstillingen og klargjør de to posisjonene i debatten, før han beskriver eksperimentene som bidro til å avklare paradokset. Med utgangspunkt i Bells ulikhet, som gjorde det mulig å designe et eksperiment som kunne skille mellom de to posisjonene i diskusjonen, beskrives eksperimentene som ble utført av Alain Aspect og medarbeidere. Uenigheten var i stor grad en konflikt mellom troen på en fundamental deterministisk, og troen på en fundamental statistisk teori.

Boka har et forord av Alain Aspect, der Ruhla bl.a. berømmes for sin gode fremstilling av stoffet. Denne anmelderen slutter seg til Aspects karakteristikk av denne meget lesverdige boka. Det er heller ikke problematisk å si som Aspect at "Boka er for de som ønsker å få innblikk i et område som fremdeles er altfor langt fra å være rettmessig integrert i vårt samfunns kultur."

Finn Ingebretsen

∞

Mario Livio: The Accelerating Universe. Infinite Expansion, the Cosmological Constant, and the Beauty of the Cosmos. John Wiley & Sons, 2000. ISBN 0-471-32969-X, (274 sider) $ 27,95.

Sannhet og skjønnhet

I 1998 skjedde det en ikke så liten revolusjon innenfor kosmologien. To forskjellige arbeidsgrupper av astronomer forkynte nemlig at universet nå ikke domineres av bremsekraften til gravitasjonen fra materien i kosmos. Universet domineres faktisk av energien som tilhører vakuum, og denne energien virker som en frastøtende kraft som akselererer ekspansjonen av universet.

Denne sensasjonen fra astronomien er nå blitt lettfattelig og elegant forklart av Mario Livio i den nye boka *"The Accelerating Universe"*. Livio forteller at målingsresultatene er tuftet på at lysfarten er stor, men endelig. Derfor ser vi bakover i tid når vi skuer ut i kosmos. Hubbles lov for utvidelsen av universet sier at farten som de fjerne galakser flyr bort med, er desto større jo lengre fra oss de befinner seg. Når en så måler forholdet mellom fart og avstand for nære og fjerne stjernetåker, kan en finne ut om ekspansjonsfarten til universet forandrer seg med tiden. Det er da særdeles viktig at en kjenner noen ekstremt lyssterke objekter som kan tjene som standard-lyskilder med kjent lysstyrke.

Her kommer de hvite dvergstjernene til hjelp. Egengravitasjonen prøver å knuse disse stjernene, men det kvantemekaniske trykket mellom elektronene motvirker tyngdekreftene. Men blir disse stjernene tyngre enn omtrent 1,4 ganger massen til sola, vinner gravitasjonen. Hvite dvergstjerner som består av karbon og oksygen vil da oppleve en voldsom eksplosjon som sprenger hele stjerna og sprer restene utover i rommet. Siden den maksimale massen for slike stjerner er så godt kjent, regner astrofysikerne med at lysstyrken fra disse eksplosjonene er meget ensartet.

Livio er meget flink til å formulere seg, og han anstrenger seg for å få fram at kosmologien ikke bare bør oppleves i en vitenskapelig sammenheng. Livio påpeker at opplevelsen blir rikere hvis en i tillegg gir stoffet en kulturell vinkling. Han er selv både kunstelsker og kunstkjenner. Når han drøfter symmetri, mønstre og dypsindigheter for de fysiske lover, drar han gjerne inn vakker og banebrytende kunst. Her synes jeg ikke forlaget har gjort jobben sin. Når Livio stadig nevner forskjellige malerier, burde disse vært gjengitt i boka. Livio skriver vel ikke bare for kunsteksperter? Sammenhengen er jo nemlig meget vesentlig, for den viser klart det nære slektskapet mellom kunst og grunnforskning. Begge viser nye måter til å forstå og oppleve verden på. Det heter riktignok at "Smak og behag ikke kan diskuteres." Og Wittgenstein hevder at: "Det en ikke kan tale om, skal man tie om." Vi tror likevel at harmonien i naturen og kunsten er vel verdt å samtale om.

Jeg skal ikke avsløre hvordan Livio drøfter hva slags mystisk materie som skjuler seg i kosmos, hvordan stjerner lever og dør og muligheten for liv med intelligens andre steder i universet. Men jeg aksepterer ikke at den såkalte inflasjonen forklarer hvorfor universet ekspanderer. For at universet skal avkjøles til en akseptabel temperatur der inflasjonen kan starte, må nemlig universet allerede fra først av være i utvidelse.

Men Livio har et krav til den fundamentale teori for universet som han muligens er den første til å våge å legge fram i klartekst: Det estetiske prinsipp; fysikklovene må være vakre. Det betyr at grunnlovene må være få, symmetriske og gjelde overalt og alltid.

Henning Knutsen

∞

John Gribbin: Watching the universe. Constable, 1998. ISBN 009478230x, (224 sider), £16,99.

Småplukk fra astronomien

John Gribbin er en svært produktiv og mangesidig popularisator av fysikk og astronomi. I boka *"Watching the universe"* er det samlet mange essays som først ble publisert i *Griffith Observer* over en tjueårsperiode, fra midten av 1970- til midten av 1990-årene. Det er gledelig, for disse lesestykkene er så gode at de fortjener et langt liv. Den store leserskare søker nok ikke bakover til tidligere numre av et periodisk tidsskrift. Men jeg håper at mange plukker med seg denne utstyrsmessig beskjedne boka. Nå er den tilgjengelig for en relativt billig penge i bokhandlene. Nivået er vel tilpasset et publikum som gjerne vil vite hva forskerne nå sysler med, men som ikke har mulighet for å lese solid faglitteratur.

I det første essayet argumenterer Gribbin friskt for at vi kan forvente oss at på enhver planet med intelligent liv vil vi finne den overlegne rase gående på to. De vil lage redskap, og da trenger de hender.

De vil være omtrent to meter høye og ha hodet på toppen. Jeg kan tilføye at dette resonnementet til Gribbin slett ikke er nytt. Jeg minnes at Fred Hoyle benyttet det i boka "Om mennesker og melkeveier".

Her er også et svært aktuelt kapittel om hvordan livet på jorda har vekslet mellom perioder med fuktighet og varme og tørr istid. Langtidseffektene bestemmes av hvordan bevegelsen til jorda blir påvirket av sol og måne. Det avgjør nemlig hvor mye varme de forskjellige landområdene på jorda mottar i løpet av året. Men for kortere perioder vil svære vulkanutbrudd som sender støv opp i stratosfæren, påvirke klimaet. Nå er det all mulig grunn til å frykte at menneskelig aktivitet har akkumulert seg til farlig betydning. Gribbin diskuterer også at soldiameteren muligens varierer med en periode på 76 år. Variasjonen av størrelsen på sola skal da bevirke at mengden av energi fra sola også varierer. Fram til 1990 motvirket denne effekten temperaturøkningen fra drivhuseffekten. Men fram til 2010 skal denne effekten gi ytterligere temperaturøkning.

I boka finnes et enkelt stykke om striden mellom biologer, geologer og fysikere om alderen på jorda. Nøutrinofysikk blir drøftet med bakgrunn i at observatørene fant langt færre nøytrinoer fra sola enn det solmodellene til astrofysikerne tilsa. Nøytrinoer er også observert fra en supernovaeksplosjon, og Gribbin forteller både om disse energiutbruddene og om nøytronstjerner som dannes i slike kosmiske katastrofer.

Et par små biografiske beretninger er inkludert. Eddington ledet ekspedisjonen som bekreftet Einsteins gravitasjonsteori, og Michell foreslo for mer enn 200 år siden de moderne svarte hull. Her finnes et kapittel om galaksedannelse, og det er fremdeles et aktivt og spennende tema fra forskningsfronten. Men også eksotiske objekter som såkalte hvite hull, blir omtalt, og dette fører leseren over til hypermoderne kosmologi der vakuum har energi og det nyfødte univers vokser eksponentielt som en bakteriekultur.

Selv var jeg mest begeistret for det Gribbin skrev om tid, varmelære, orden og utvikling av universet. For det er egentlig et snodig faktum at vi kan fastlegge en tidsretning. De fundamentale fysikklovene skiller nemlig ikke mellom fortid og framtid. Vår egen samtid med kav og mas bekrefter bare Peer Gynt sin kunngjøring: "Tid er penger, som skrevet står." Men å lese boka til Gribbin var vel anvendt tid, og det var fornøyelig tid.

Henning Knutsen

∞

Trim i FFV

FFVT 1/01

I en bordplate er det boret tre hull som danner en rettvinklet trekant der begge katetene er 1 meter. Under bordet henger tre like tunge vekter, en under hvert hull. Tauene som holder loddene går friksjonsløst gjennom hullene og er på oversiden knyttet sammen i en knute uten løse ender.

Hvorfor plasserer knuten seg slik at minst mulig tau blir synlig over bordplata? Og hva blir totallengden av tau på oversida av bordplata?

Løsning FFVT 4/00

a) Spørsmålet var om vannstanden i et basseng stiger, synker eller er uforandret når du fra en båt mister en flaske brus overbord. Svaret avhenger av om flaska flyter eller synker.

Et flytende legeme fortrenger like stor vannmengde som sin egen vekt. Dersom flaska er halvfull og blir liggende å flyte, vil totalvekten av båt pluss flaske være uendret. Derfor vil vann-nivået være uforandret. Dersom flaska går til bunns, derimot, vil vekten av det fortrengte vann være mindre enn vekten av flaska, og vannstanden vil synke.

Svaret på tilleggsspørsmålet om situasjonen ved båtlekkasje, er at vannstanden er uforandret så lenge båten er flytende. Økingen av fortrengt vannmengde når båten blir tyngre er nemlig presis lik vannmengden som er lekket inn i båten.

b) Halvdelen av de 12 tallene på en klokkeskive ble farget røde (R), den andre halvdelen grønne (G). Intervallet mellom to ulike røde tall er definert som det minste antall timer som ligger mellom dem, et heltall som er minst 1 og høyst 6. Tilsvarende for de grønne tallene. Du skulle bevise at de røde og de grønne tallene alltid har samme sett av intervaller, uansett fordelingen av fargene på tallene!

La oss starte med intervaller av lengde 1 (dvs. nabotall). La oss se på alle slike intervaller sirkelen rundt, dvs. intervallene 1-2, 2-3, 3-4,... 12-1. Endel av disse intervallene vil ha motsatt farge på de to tallene som definerer intervallet, endel vil være R-R-intervall, og endel vil være G-G-intervall. Hvert tall kommer med i to intervaller, slik at i listen over intervaller må det være 12 R og 12 G. For R-G-intervallene er det like mange R og G, og da må det være *like mange* R-R og G-G-intervaller. Derved har vi bevist påstanden for intervall av lengde 1. Beviset for en hvilken som helst annen intervall-lengde er identisk med dette.

∞

Nye Doktorer

Lisa Henden

Cand.scient. Lisa Henden forsvarte 26. oktober 2000 sin avhandling *Design and Performance Studies of a Polymer Solar Collector* for graden dr.scient. ved Universitetet i Oslo.

En ny solfanger basert på polymere materialer, som kan bidra til økt bruk av solenergi, er utviklet. Solfangeren er en del av et lavtemperatur solvarmesystem som kan varme opp vann til bruk i bygninger og industriprosesser. Solvarmesystemet innebærer at solenergi kan konkurrere i pris med energi levert fra mer konvensjonelle kilder. Avhandlingen tar for seg solfangerens design og virkemåte, en ny metode til bestemmelse av solfangerens og systemets ytelse basert på kalorimetri, anvendelse av metoden på eksisterende systemer og en sammenligning av kalorimetrisk metode med mer konvensjonelle metoder.

Solfangeren består av to doble plastplater. Den fremre platen er laget av polykarbonat som slipper sollyset gjennom mens den hindrer utstråling av varme. Den bakre platen, som er laget av svart modifisert polyphenylenoxid, er solfangerens absorbator. Absorbatoren inneholder mange indre kanaler som er fylt med små partikler. Når vann renner gjennom partikkelfyllingen sørger kapillarkreftene for at vannet kommer i kontakt med den svarte flaten og opptar varme som avsettes når sollyset absorberes. Absorbatorens overflate holdes derved avkjølt og varmetapet reduseres.

Prosjektet er utført ved Fysisk institutt, UiO, med professor John Rekstad som veileder.

∞

Anne Holt

Cand.scient. Anne Holt forsvarte 31. august sin avhandling *Large scale shell-model studies of medium heavy nuclei with realistic effective interactions* for graden dr.scient. ved Universitetet i Oslo.

Tema for avhandlingen er studier av den effektive vekselvirkning mellom middels tunge atomkjerner ved hjelp av store skallmodellberegninger. Avhandlingen er en del av et større prosjekt som søker å forstå egenskapene til atomkjernene ut fra kreftene som virker mellom nukleonene. Atomkjernen er et mangepartikkelsystem, og kreftene mellom to nukleoner modifiseres av at det er andre nukleoner til stede. Den effektive vekselvirkning bestemmes av dette.

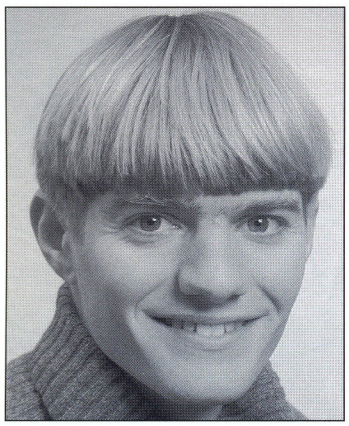
Målet med arbeidet har vært tosidig; på den ene siden å gjøre en grundig undersøkelse av den effektive vekselvirkningen, og på den andre siden å teste skallmodellberegninger på store systemer ved å tøye grensene for hva som er mulig med dagens datateknologi.

Avhandlingen omfatter systematiske beregninger av egenskaper til en rekke kjerner som tidligere ikke har vært tilgjengelig for denne type analyse, delvis fordi det ikke har foreligget adekvate effektive vekselvirkninger for masseområdet og delvis fordi man ikke har hatt tilstrekkelig regnekapasitet til rådighet.

Doktorgradsarbeidet har vært utført ved Fysisk institutt, UiO, innen fagområdet teoretisk kjernefysikk, og veiledere har vært professorene Eivind Osnes og Torgeir Engeland. Anne Holt er nå førsteamanuensis ved Høgskolen i Oslo.

∞

Jan Kocbach



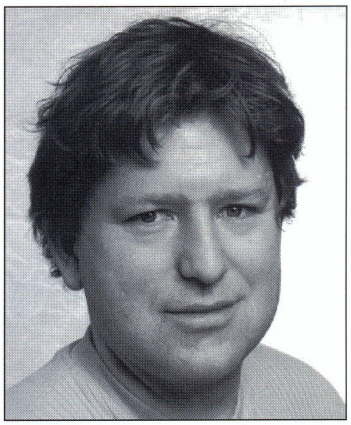
Cand.scient. Jan Kocbach forsvarte 24. nov. 2000 sin avhandling *Finite Element Modeling of Ultrasonic Piezoelectric Transducers. Influence of geometry and material parameters on vibration, response functions and radiated field,* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen.

Piezoelektriske transdusere inngår i ultralydinstrumenter innenfor en rekke områder, som f.eks. marin akustikk, medisinsk ultralyd, strømningsmåling og prosessinstrumentering. Bruk av nøyaktige simuleringsverktøy er avgjørende ved utvikling og testing av gode ultralydinstrumenter. Kocbach har utviklet et nytt simuleringsverktøy for nøyaktig analyse av piezoelektriske transdusere, basert på endelig-element-metoden. Ved hjelp av dette verktøyet er det gjennomført omfattende systematiske undersøkelser av hvordan forskjellige egenskaper til ultralydtransdusere endrer seg når geometri og materialparametre endres. Disse undersøkelsene har bl.a. vist at tykkelsen av et matche-lag for tykke piezoelektriske skiver og for radiellmode-transdusere i mange tilfeller bør velges 10–15 % tynnere enn kvartbølgelengden. I tillegg til å bidra til grunnleggende fysisk forståelse, vil disse undersøkelsene kunne nyttiggjøres ved utvikling av fremtidig ultralydinstrumentering, f.eks. for strømningsmåling av olje og gass.

Jan Kocbach tok cand.scient.-eksamen i hydroakustikk ved UiB i 1996. Dr.scient.-arbeidet ble utført i hydroakustikkgruppen ved UiB i samarbeid med Christian Michelsen Research AS, med Magne Vestrheim (UiB) og Per Lunde (CMR) som veiledere. Kocbach er nå ansatt som dr.scient. ved Nera Research i Bergen.

∞

Odd Harald Odland



Cand.scient. Odd Harald Odland forsvarte 8. desember 2000 sin avhandling *A Study of the Performance of the Photon Spectrometer PHOS in the ALICE Experiment at the Large Hadron Collider* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen.

Avhandlingen omhandler arbeid med utlesning og tolkning av data fra fotonspektrometeret PHOS som er under utvikling for ALICE-eksperimentet ved CERNs LHC-akselerator. I dette eksperimentet vil det i kollisjoner mellom energirike blykjerner bli dannet kjernematerie med ekstremt høy energitetthet. En teori predikterer at kjernematerien da vil gå over i et kvark-gluon-plasma dersom energien er høy nok. Hvis en slik faseovergang finner sted, vil dette kunne reflekteres i energispekteret til fotonene som utstråles fra kollisjonsområdet. PHOS-spektrometeret vil måle de produserte fotonene ved deres energiavsetning i bly-wolframat-krystaller, og leses ut ved hjelp av silisiumdioder.

En prototyp av spektrometeret er blitt testet i elektron- og positronstråler ved CERN. Odland har arbeidet med å identifisere bidraget fra elektrisk ladede partikler i data fra denne prototypen. Når man kjenner effekten av de ladede partiklene, kan man finne det korrekte energispekteret til fotonene.

Odlands doktorarbeid er blitt utført i kjernefysikkgruppen ved Fysisk institutt, UiB, under veiledning av førsteamanuensis Dieter Röhrich og med finansiering fra Norges forskningsråd.

Odd Harald Odland ble cand.scient. i kjernefysikk ved UiB i 1995. Han er nå postdoktorforsker ved kjernefysikklaboratoriet SUBATEC i Frankrike.

∞

Are Strandlie

Cand.scient. Are Strandlie har forsvart sin avhandling *Adaptive methods for the reconstruction of charged tracks in a noisy environment* for graden dr.scient. ved Universitetet i Oslo.

Den neste generasjons eksperimenter ved akseleratoren Large Hadron Collider ved CERN, er under oppbygging og skal stå ferdig i år 2005. Sporrekonstruksjon er en viktig del av dataanalysen i slike eksperimenter, og går ut på å identifisere banene som elementærpartiklene følger etter at de har kollidert inne i detektorene. Ved disse eksperimentene vil mengden og kompleksiteten av dataene som må analyseres være større enn i dagens eksperimenter. Dette setter store krav både til nøyaktighet og hurtighet for de metodene som skal anvendes.

Avhandlingen presenterer et sett av nye metoder, eller algoritmer, for spor-rekonstruksjon i elementærpartikkeldetektorer. Ved å kombinere ideer fra statistisk fysikk med filterteori fra statistikk, viser disse metodene seg å gi presise resultater uten å være spesielt krevende beregningsmessig. Andre metoder som blir presentert fokuserer på hurtighet. Det er vist at de nye metodene fremstår som mer nøyaktige alternativ til eksisterende metoder av sammenliknbar hurtighet.

Veiledere for prosjektet har vært førsteamanuensis Jørn Wroldsen, Høgskolen i Gjøvik, og professor Steinar Stapnes, Fysisk institutt, UiO.

Arbeidet er primært blitt utført ved Fysisk institutt, UiO, og ved Avdeling for teknologi, Høgskolen i Gjøvik. Doktoranden har også hatt samarbeid med miljøer ved CERN, INRIA (Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique) i Frankrike, Institutt for Høyenergifysikk, Viteńskapsakademiet i Wien, og SINTEF Oslo.

∞

Christina Søyland

Cand.scient. Christina Søyland har forsvart sin avhandling *Development of a novel method for radiobiological experiments featuring absolute alpha-particle hit determination and individual cell alpha-particle dosimetry* for graden dr.scient. ved Universitetet i Oslo.

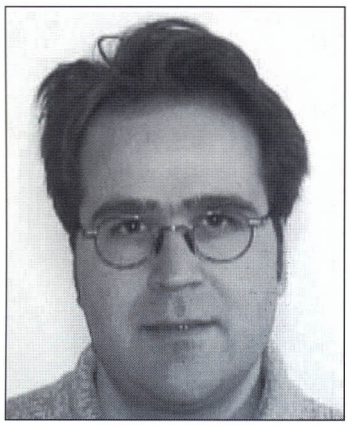
Avhandlingen beskriver et nytt redskap for å studere cellers respons på alfapartikler. Alfapartikkelstråling er samme type stråling som lungeceller bestråles med når den radioaktive gassen radon inhaleres. Alfapartikler er dessuten nylig blitt satt inn i en ny type kreftbehandling i USA. Det er derfor interesse for hva slags skade ett enkelt treff av en alfapartikkel gjør på en menneskecelle. Dette kan måles med den nye teknikken som er utviklet i dette doktorarbeidet.

Teknikken består i at celler bestråles med alfapartikler. Cellene, og spor etter alfapartiklene i underlaget som cellene vokser på, studeres under et mikroskop slik at det er mulig å bestemme nøyaktig hvor hver enkelt celle er truffet. Teknikken er blitt benyttet i biologiske eksperimenter for å studere celledrap, forsinkelser i celledeling og kromosomavvik fremkalt av alfapartikkelstråling. Disse forsøkene har vist at ett alfapartikkeltreff i cellekjernen dreper en celle med ca. 40 % sannsynlighet. Treff utenfor cellekjernen dreper ikke cellen, men kan forsinke celledelingen. Visse kromosomavvik ser ut til å oppstå i celler som ikke er truffet av alfapartikler, men som er naboer til trufne celler.

Doktorarbeidet er dels utført ved Avdeling for Biofysikk ved Det Norske Radiumhospital, og dels ved NIH, Bethesda, Maryland og ved University of Chicago, Illinois, USA.

∞

Trond Morten Thorseth



Cand.scient. Trond Morten Thorseth har disputert for dr.scient.-graden ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) med avhandlingen *Solar ultraviolet irradiance measurements, instrumentation, intercomparisons and interpretations.*

Det er behov for stabile instrumenter som kan detektere små endringer i ultrafiolett solstråling over lang tid. Årsaken til dette er en forventet økning i ultrafiolett stråling ved bakken på ca. 8 % siden 1980 på grunn av endringer i ozonlaget. Trond Morten Thorseth sett nærmere på dette problemet.

Et sentralt tema i doktorgradsarbeidet har vært å forbedre målesystemer for kontinuerlig overvåkning av naturlige variasjoner i ultrafiolett stråling fra sola. Thorseth har utviklet metoder for å kontrollere og kvalitetssikre innsamlede data. Han har videre kartlagt årsaker til målefeil og utviklet metoder for å korrigere dataene. Metoder og målesystemer er tilpasset norsk klima og geografi.

Arbeidet har ført til økt forståelse av variasjonen i ultrafiolett solstråling og hvilke faktorer i atmosfæren som påvirker den. De innsamlede dataene og metodene som er blitt utviklet for kontroll av disse, har gjennom nært samarbeid med andre prosjekter bidratt til en forbedret forståelse av det ultrafiolette strålingsklimaet i Europa.

Doktorgradsarbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med førsteamanuensis Berit Kjeldstad som hovedveileder. Arbeidet ble finansiert av Norges forskningsråd. Trond Morten Thorseth er nå postdoktorstipendiat ved Inst. for fysikk, NTNU.

∞

Frode Westvold

Siv.ing. Frode Westvold disputerte 23. november for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo med avhandlingen *The effects of alloying elements on mechanical properties and formability of recycled aluminium sheet.*

Aluminium er svært godt egnet for resirkulering. Kvaliteten av materialet forringes ikke av omsmelting, det "husker" ikke sin forhistorie. Det kan derfor resirkuleres gjentatte ganger uten at det nedgraderes. Ved omsmelting vil en rekke legeringselementer være til stede i metallet. Avhandlingen fokuserer på hvilken effekt disse legeringselementene har på egenskapene ved forming til nye produkter. Resultatene viser at resirkulert aluminium kan gi nye materialer med minst like gode egenskaper som ved tradisjonell fremstilling fra "nytt" metall. Egenskapene er kartlagt ved mikrostrukturelle undersøkelser og ved mekanisk testing relevant for industrielle formingsoperasjoner. Resultatene åpner for utvidet bruk av resirkulert aluminium i fremstillingen av nye høyverdige produkter.

Arbeidet er utført ved SINTEF Materialteknologi i Oslo. Det er en del av Prosmat-Resirkuleringsteknologiprogrammet, som er et samarbeid mellom Norges forskningsråd, Hydro Aluminium, SINTEF og Universitet i Oslo.

Frode Westvold tok siv.ing.-eksamen i metallurgi ved NTNU i 1994. Han har siden 1996 vært ansatt som stipendiat ved SINTEF Materialteknologi i Oslo.

∞

Nytt fra NFS

FYSIKERMØTET 2001

http://www.phys.ntnu.no/fysikermotet2001

Vi inviterer til Fysikermøtet 2001 i Trondheim 14–17. juni. Årets møte er planlagt å være starten på en ny giv for Fysikermøtet og omfatter gruppemøter for hver av de 7 nye faggruppene i Norsk Fysisk Selskap, årsmøtet i selskapet og prisutdelinger. For flere av faggruppene er dette første gangen de samles. Arrangementet vil foregå i Realfagbygget på Gløshaugen, Høgskoleringen 5, der hele fysikkmiljøet ved NTNU nå er samlet. Fra Gløshaugen er det 15–20 min. gange til Trondheim sentrum.

Faggruppedelen av møtet varer fra torsdag formiddag til lørdag ettermiddag, og vil bestå av plenumsforedrag og parallellsesjoner for hver av gruppene. Vi har 7 inviterte plenumsforedrag foreslått av de ulike gruppene. Disse spenner fra "Universets fødsel og skjebne" og "Langsiktige solvariasjoner og deres implikasjoner for livet på jorda" til "Fysikken og anvendelsene til forsterkete biologiske membraner" og "Kvanteverden avdekt ved hjelp av elektronbølger". Det blir også foredrag innen skolefysikk, kondenserte fasers fysikk og papirfysikk. Vi håper at disse foredragene og gruppesesjonene, vil bringe folk fra alle deler av fysikken sammen til dette møtet.

Parallellsesjonene vil bestå av inviterte foredrag og presentasjoner av møtedeltakerne. Formatet på sesjonene vil variere og noen sesjoner vil være felles for 2 faggrupper. Alle deltakere oppfordres til å bidra med foredrag og postere. En postersesjon er planlagt fredag ettermiddag, og alle vil få en bok med de innsendte sammendragene.

Som en oppfølging av Norges forskningsråds evaluering av norsk forskning i fysikk, skal det innen høsten utarbeides en Fagplan i fysikk i regi av Forskningsrådet. Satsinger innen norsk forskning i fysikk for framtiden vil stå sentralt. Fagplanen vil være utgangspunkt for paneldebatten lørdag.

Utdeling av Simrad Optronics pris i elektrooptikk og Undervisningsprisen, samt paneldebatt foregår lørdag ettermiddag, og årsmøtet i Norsk Fysisk Selskap avholdes på formiddagen søndag 17. juni. Torsdag kveld blir det omvisning og sosialt samvær i Realfagbygget. Fredag kveld blir det arrangert båttur til Munkholmen hvor vi får omvisning og servering av rekebuffet. Konferansemiddagen avholdes på Royal Garden Hotell i Trondheim sentrum, på lørdag kveld. Nærmere informasjon om programmet finnes på Internett.

Vi vil også nevne at to studentforedrag vil bli påskjønna med tur til "International Conference for Physics Students" som arrangeres i Dublin, Irland.

Vi har reservert rom på 4 hotell med ulike priser og standard. 3 av hotellene er i Trondheim sentrum, mens Singsaker Sommerhotell ligger 5 min. gange fra Gløshaugen og 10–15 min. fra sentrum. Reservasjon av hotell må gjøres til oss så snart som mulig.

Program for Fysikermøtet

Torsdag 14.06
0930 Registrering
1100 Åpning
1115 Invitert plenumsforedrag
1200 Lunsj
1300 Faggruppedel, parallellsesjoner
1545 Kaffe
1600 Invitert plenumsforedrag
1645 Presentasjon av Institutt for fysikk, NTNU, ved Steinar Raaen
1730 Presentasjon av Realfagbygget
1800 Omvisning i Realfagbygget og sosialt samvær

Fredag 15.
0830 Invitert plenumsforedrag
0915 Kaffe
0930 Faggruppedel, parallellsesjoner
1145 Lunsj
1245 Invitert plenumsforedrag
1330 Faggruppedel, parallellsesjoner
1545 Kaffe
1600 Postersesjon
1900 Båtavgang til Munkholmen

Lørdag 16.
0830 Invitert plenumsforedrag
0915 Kaffe
0930 Faggruppedel, parallellsesjoner
1145 Lunsj
1245 Invitert plenumsforedrag
1330 Invitert plenumsforedrag
1415 Utdeling av Simrad Optronics pris
1500 Kaffe
1515 Utdeling av Undervisningsprisen
1600 Paneldebatt: Fagplan i fysikk i regi av NFR: Satsinger for framtiden (Panel med deltakere fra NFR og fysikkmiljøene)
1930 Konferansemiddag

Søndag 17.
0930 Årsmøte i NFS

På vegne av arrangementskomiteen og Institutt for fysikk, NTNU, vil jeg ønske alle velkommen til Fysikermøtet 2001 i Trondheim.

Anne Borg

∞

ÅRSMØTET 2001

Norsk Fysisk Selskap har årsmøte i Trondheim søndag 17. juni kl 0930. Saker som ønskes tatt opp må være innsendt til styret senest 3 uker før møtet. Sakspapirer vil være tilgjengelig på Internett: *http://www.fys.uio.no/nfs/referat/referater.htm*

Foreløpig saksliste:

1. Godkjenning av innkalling og saksliste
2. Årsmelding
3. Regnskap og budsjett for NFS, NFL og FFV
4. Statuttendringer (forslag blir sendt ut til medlemmene via e-post eller brev).
5. Valg:
   a) Visepresident (2 år)
   b) 2 styremedlemmer (2 år)
   c) 2 varamedlemmer (2 år)
   d) Revisor med vararevisor for NFS (1 år)
   e) Revisor for FFV (1 år)
   Merk at eventuelle forandringer i statuttene kan bety endringer i hvilke valg som skal foretas.
6. Aktuelle prosjekter i NFS
7. Eventuelt

Februar 2001
Styret

∞

Støtte til deltakelse på Fysikermøtet

Studenter, fortrinnsvis hovedfagsstudenter, kan søke om støtte til deltakelse på møtet. Støtten vil være på 1800 kr.

Lærere i videregående skole kan også søke om støtte til deltakelse på møtet. Norsk Fysikklærerforening har mottatt bidrag fra Statens lærerkurs, og det er rom for å bidra med betydelig støtte til lærere.

Søknadsfristen, både for studenter og lærere, er 20. april. Søknaden sendes til NFS/NFL ved Heidi Bruvoll, Fysisk institutt, Postboks 1048 Blindern, 0316 Oslo, epost: *heidib@fys.uio.no*

∞

Priser til utdeling på Fysikermøtet

Simrad Optronics pris i elektro-optikk

Simrad Optronics A/S vil i 2001 gi 15 000 kr til en fagpris i elektro-optikk. Prisen vil bli delt ut under Fysikermøtet i Trondheim i juni 2001.

Prisen kan gis til en eller flere norske forskere som har sitt arbeidssted i tilknytning til norske institusjoner. Prisen gis for forskningsarbeid av høy faglig kvalitet innenfor elektro-optikk eller innenfor et fagområde der elektro-optiske metoder er anvendt. Både grunnleggende og anvendt forskning kan tilgodeses. Arbeidet bør være av nyere dato, fortrinnsvis innenfor de fem siste år.

Undervisningsprisen

Norsk Fysisk Selskap, med støtte fra Aschehoug, Cappelens forlag, NKI-forlaget, Norsk Undervisningsforbund og Statoil, vil i 2001 dele ut en Undervisningspris på 15 000 kr. Prisen vil bli utdelt ved Fysikermøtet i Trondheim i juni 2001.

Prisen deles ut til en eller flere som underviser i skolen (grunnskolen eller videregående skole). Formålet med prisen er å styrke fysikkundervisningen og belønne en innsats av høy faglig kvalitet. For mer informasjon om prisene se

http://www.fys.uio.no/nfs/priser/priser.htm

Begrunnede forslag til kandidater kan sendes Norsk Fysisk Selskap, Pb. 1048 Blindern, 0316 Oslo, innen 31. mars.

∞

Nye medlemmer 12. februar 2001

Thomas Moe Børseth
11 Grande rue Nazareth, F-31000 Toulouse, France

Stein Dankert Kolstø
Inst. for praktisk pedagogikk, Christiesg. 13, 5020 Bergen

Mohammad Idrish Miah
Moholt allé 22–63, 7050 Trondheim

Sidsel Naustvoll
Høgskolen i Narvik, Pb. 385, 8505 Narvik

Trond Ramsvik
Institutt for fysikk, Gruppe for overflatefysikk,
Høgskoleringen 5, 7491 Trondheim

Asbjørn Thurmann-Nielsen
Storgt. 21A, 3660 Rjukan

Berit Tvedt
Søreidneset 23, 5251 Søreidgrend

∞

FYSIKERMØTET 2001

TRONDHEIM, TORSDAG 14. - SØNDAG 17. JUNI

PÅMELDING

Tittel: ..... Telefon: .....

Navn: ..... Epost: .....

Adresse: ....

.....

.....

Konferanseavgiften er kr. 1000,-. For lærere i videregående skoler og studenter er den kr. 500,-. Faktura blir tilsendt etter at påmeldingen er registrert.

☐ Jeg har krav på halv konferanseavgift

Jeg melder meg på programmet til faggruppen .....

Jeg melder på ..... personer til sosialt samvær fredag kveld (350,- pr. person)

Jeg melder på ..... personer til festmiddag lørdag (500,- pr. person)

☐ Jeg ønsker å holde presentasjon (foredrag eller poster)

Send oss i så fall en epost der du for hver presentasjon angir typen (foredrag eller poster), tittel, forfattere/adresser og sammendrag (max 1200 tegn).

Jeg ønsker innkvartering for ..... voksne og ..... barn for nettene (sett kryss)

☐ 14.-15. ☐ 15.-16. ☐ 16.-17. og bestiller følgende rom:

Singsaker Sommerhotell	.... enkelt u/bad kr. 345,-	.... dobbelt u/bad kr. 540,-
	.... enkelt m/bad kr. 445,-	.... dobbelt m/bad kr. 640,-
Trondheim Hotell	.... enkelt kr. 640,- (550,-)	.... dobbelt kr. 840,- (800,-)
Comfort Hotell Augustin	.... enkelt kr. 695,-	.... dobbelt kr. 845,-
Chesterfield Hotell	.... enkelt kr. 875,- (550,-)	.... dobbelt kr. 995,- (695,-)

Priser er pr. rom pr. natt (helg i parentes). Overnatting betales direkte til hotellet.

(Jeg ønsker å dele rom med .....)

Påmelding innen 20. april til :
NTNU, Institutt for fysikk v/Anne Borg, 7491 Trondheim,
eller faksnr. 73597710.

Mer info om Fysikermøtet på internett: www.phys.ntnu.no/fysikermotet2001/

Påmelding kan også gjøres via internettsidene.

Forbehold om prisendringer og fullbooking av hoteller (se nettsidene).

Spørsmål kan rettes til Anne Borg, tlf. 73593413, epost: anne.borg@phys.ntnu.no

C-BLAD

Returadresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo

Retningslinjer for forfattere

Fra Fysikkens Verden utgis av Norsk Fysisk Selskap og sendes til alle medlemmer. Disse er vanligvis utdannet fra universiteter og høgskoler med fysikk i sine fagkretser. Men andre kan også abonnere på bladet, og blant disse er elever og biblioteker ved videregående skoler. Bladet gis ut fire ganger i året, i mars, juni, oktober og desember. Tidsfristene for stoff er hhv. 1. februar, 1. mai, 1. september og 1. november. Opplaget er f.t. 1900.

FORMÅLET MED FFV er å gi informasjon til alle med interesse for fysikk, og tidsskriftet ønsker å bygge bro mellom forskere, fysikklærere, studenter og andre interesserte. Ikke minst ønsker FFV å være til hjelp for elever og lærere i vieregående skoler og andre undervisnigsinstitusjoner. Dette krever at artikler og annet stoff er skrevet på en lett og forståelig måte på norsk uten unødig bruk av spesielle faguttrykk og matematikk. Faguttrykk som må brukes må defineres, og matematikken bør være forståelig for vanlige fysikkstudenter. En mindre eksakt verbal form er oftest å foretrekke, men det må brukes standard begreper og enheter. Husk at artiklene i FFV primært skal gi oversikt og informasjon til dem som er utenfor det aktuelle fagfeltet. Artikler som bare kan leses med utbytte av en snever faggruppe, har ingen plass i bladet. Alt stoff blir vurdert redaksjonelt, og redasjonen forbeholder seg rett til å foreta mindre endringer.

MANUSKRIPTER leveres fortrinnsvis på diskett eller som e-post, med papirutskrift i tillegg. Diskettene må merkes med hvilket operativsystem/tekstbehandlingsprogram som er brukt. Manus kan også leveres maskinskrevet med dobbelt linjeavstand.

ARTIKLER bør ikke være lengre enn 6 sider med trykt tekst. Større avsnitt i teksten bør markeres med undertitler. Referanser kreves ikke, men det er ønskelig med en liste over lett tilgjengelig tilleggstoff.

SMÅSTYKKER: bokomtaler, skolestoff, møtereferater, nekrologer etc. mottas gjerne, men de bør ikke være lengre enn 1–2 sider.

DOKTOROMTALER trykkes gjerne, men bør begrenses til ca 0,5 sider inkludert bilde.

ILLUSTRASJONER er en svært viktig del av en artikkel. Legg derfor mye omtanke i figurene og bruk norsk teksting. Figurene vil som regel bli trykket i svart/hvitt. Bare i helt spesielle tilfeller kan figurer trykkes i farger, av økonomiske grunner. Figurene bør helst være i omtrent dobbelt format, og de må ikke være rastrerte. Alle figurer og bilder må merkes tydelig.

Det skal refereres til figurer og tabeller i teksten, og ønsket plassering bør markeres. Hvis forfatterne selv ikke har laget figurene, skal opprinnelsen oppgis. Forfatterne må selv innhente tillatelse til bruk av slike illustrasjoner.

FORSIDEBILDER velges som regel i tilknytning til en artikkel. De må være teknisk gode og kan trykkes i farger.

KORREKTUR: Forfatterne får tilsendt korrektur som må returneres snarest, og det må ikke gjøres unødige endringer i korrekturene.

GRAFISK PRODUSKJON OG TRYKK: OSLO SATS, REPRO & MONTASJE A/S

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Steinar Stapnes
Fysisk inst., Univ. Oslo.
E-post: steinar.stapnes@fys.uio.no

Visepresident:
Professor Kristian Fossheim
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.

Styremedlemmer:
Førsteaman. Olav Gaute Hellesø
Inst. for fysikk, Univ. Tromsø.
Førsteaman. Jan Petter Hansen
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Førsteaman. Anders Isnes
ILS, Univ. Oslo.

Selskapets sekretær:
Rådgiver Heidi Bruvoll
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 26, Fax.: 22 85 64 22
E-post: heidi.bruvoll@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 Noralv Bjørnå
Inst. for fysikk, Univ. Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.
Professor Egil Leer,
Inst. for teor. astrofysikk, 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: 0532 1448307
Bankgiro: 6094.05.40227

Fra Fysikkens Verden kommer ut 4 g. årlig.
Abonnement kan tegnes fra ekspedisjonen.
Årsabonnement 120 kr. (Studenter 60 kr.)
Løssalg 40 kr. pr. nummer.