Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 2002
64. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Bjørnar Sandnes:
Kald fusjon 37
Erik Dvergsnes og Per Osland:
Ekstra dimensjoner 43
Øystein Elgarøy:
Universet som nøytrinovekt . . . 48
Fra Redaktørene 34
In Memoriam 34
Per Olav Tjøm
FFV Gratulerer 35
Eivind Vilhelm Thrane
Konferanse 52
Plasma- og gassutladnings-symposiet
Bokkronikk 54
Bokomtale. 59
Hva skjer. 60
Fysiker fra NTH gir store gaver
Trim i FFV 61
Nye Doktorer 62
Dr.ing. Audun Bakk
Dr.scient. Michaela Georgine Meir
Dr.scient. Hong Qu

Deltakerne på årets treningskurs for Fysikk-OL

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Et tilbakevendende tema i denne spalten er den svake rekrutteringen til de "harde" realfagstudiene generelt og til fysikk spesielt. Vi undres stadig over det paradoksale i at på den ene side blir de uheldige konsekvensene av rekrutteringssvikten framhevet helt opp på ministernivå, mens, på den annen side, fraværet av tiltak er påfallende.

Allikevel, fysikerne engasjerer seg for å gjøre noe med problemet, som f.eks. instituttbesøksordning for alle skolenivåer, foredragspakke til den videregående skole, gateuniversitet, presentasjonsbrosjyrer for fysikkstudier og opplegg for fysikkolympiaden. De stadig magrere årlige ressurser "skrapes" for å få til – en, desverre, for lite synlig – reklame for faget. Men frivillig (og ubetalt) innsats til tross, "medisinen" er enten for svak eller til og med kanskje ikke den riktige. For hva er det som trekker flinke unge mennesker til et fag som fysikk? Erfaringer fra et helt annet område, som for eksempel musikk, kan muligens gi økt innsikt; hva er det som bestemmer hva slags musikk vi liker? Kortversjonen av en sammensatt årsakskjede er at vi liker det vi er vant til og det vi har positive erfaringer knyttet til. Overfører vi denne viten til fysikk, synes det åpenbart at det rett og slett er et kulturelt problem vi er konfrontert med – kanskje kjemper vi mot selve Bøygen?

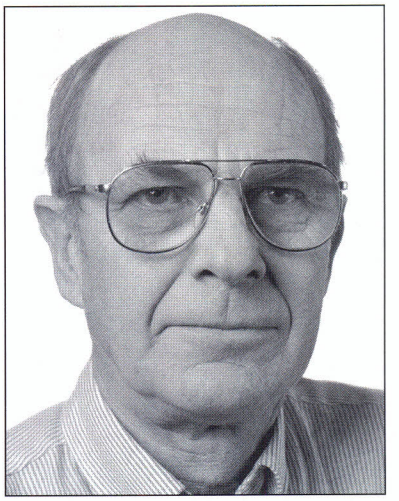
De årlige fysikkolympiader representerer et lyspunkt. Årlig arrangeres en landsomfattende uttakskonkurranse med en norsk finale etter en ukes trimmekurs – i de siste år ved Fysisk institutt i Oslo. I år som tidligere, har det vært oppmuntrende å observere at det fremdeles finnes dyktige ungdommer som liker den faglige utfordringen fysikk representerer.

Et annet poeng ved årets uttaking stod omtalt i Dagbladet den 21. mai. Fem av dem som gikk videre til 2. runde, var alle elever av samme fysikklektor, Tore Arnt Jacobsen ved Tyholmen videregående skole i Arendal. Vi har tidligere observert slike synlige virkninger av faglig dyktige pedagoger. Norsk videregående skole nyter fortsatt godt av en generasjon dyktige fysikklektorer, men om noen få år – kjære politikere – må de oppspores blandt landets pensjonister. Da blir ille til mye verre – og hva gjør dere med det?

∞

In Memoriam

Per Olav Tjøm (1933–2002)



Professor Per Olav Tjøm ble født i Mandal den 1. april 1933 og døde 24. februar 2002. Han ble cand.real. med kjernefysikk hovedfag i 1958 ved Universitetet i Oslo. I 1959 ble han vitenskapelig assistent ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Fra 1960 var han universitetslektor, senere førsteamanuensis, inntil han i 1987 ble utnevnt til professor samme sted. Han tok dr.philos.-graden i 1969 på en avhandling om enkeltpartikkelnivåene hos atomkjerner i området av de sjeldne jordartene. Han hadde flere utenlandsopphold. Fra 1965 til 1967 arbeidet han ved Niels Bohr Institutet i København, og 1973–74 studerte han tungionereaksjoner ved Lawrence Berkeley National Laboratory i California. Senere har han hatt hyppige korte og lengre forskningsopphold ved Niels Bohr Institutet, i Berkeley, ved GSI, Darmstadt og ved Legnaro i Italia.

Tjøm var en internasjonalt respektert og anerkjent fysiker med en bred forskningserfaring innenfor kjernefysikk. Dette er dokumentert gjennom et meget stort antall vitenskapelige avhandlinger og konferansebidrag. Han startet sin karriere med kjernepartikkelspektroskopi i van de Graff-laboratoriet ved Niels Bohr Institutet i København. Tjøm gjorde sammen med forskere ved Niels Bohr Institutet, en banebrytende innsats i kartleggingen av Nilsson-tilstander i sjeldne jordarter ved hjelp av 'stripping' og 'pick-up'-reaksjoner. Disse studiene har gitt et rikt tilfang til den informasjon vi i

dag har om atomkjerner i dette masseområdet.

Han interesserte seg for nye forskningsfelt og var blant de første som gjennomføre eksperimenter med tunge ioner. Herigjennom ga han norsk kjernefysikk en direkte kontakt til et av kjernefysikkens mest spennende områder: atomkjerner i hurtig rotasjon.

Tjøms forskningsinnsats har hovedsakelig skjedd i internasjonale samarbeidsprosjekter knyttet til de mest anerkjente laboratorier. I disse prosjektene har han vært en skattet og høyt respektert medarbeider som har vist stor kreativitet i unnfangelse av nye forskningsideer og ytt vesentlige bidrag til analyse og prosjektenes gjennomførelse. Han har ved sin personlige innsats bidratt til at det har vært mulig for kjernefysikkgruppene ved universitetene i Norge å arbeide helt i den internasjonale forskningsfronten. Han var i en årrekke medlem av Nordisk komite for akseleratorbasert forskning.

Tjøm tok også del i prosessen som førte til at Universitetet i Oslo fikk et moderne syklotronlaboratorium, og han arbeidet aktivt med etableringen av laboratoriet der mange fysikere senere har fått sin utdannelse.

Det grodde i Tjøms fotspor. Flere unge stipendiater fra Norge fulgte etter inn den døren som Tjøm ved sin store arbeidsinnsats åpnet ved Niels Bohrs Institut i København. Der fikk de sin første skolering i å arbeide med avanserte forskningsprosjekter i den internasjonale forskningsfronten, og mange av disse er i dag ansatt ved universitetene i Norge.

Tjøm var opptatt av formidling og undervisning. Han underviste i begynnerkurs for nye studenter og ga også undervisning på hovedfagsnivå. I en årrekke var han ansvarlig for høyeregradsundervisningen ved Fysisk insitutt, Universitetet i Oslo. Han veiledet studenter til cand.scient.- og dr.scient.-eksamen, og de hadde nytte og glede av Tjøms store fysikkunnskaper og omtanke for sine studenter. Han ga studentene utstrakt frihet til å velge sine egne prosjekter, samtidig som han støttet og veiledet dem i deres studier.

Tjøm var en høyt skattet medarbeider. Vi som var så heldige å ha ham som kollega satte særlig pris på hans omtenksomhet og lune ro under alle forhold. Han er en dypt savnet kollega.

Finn Ingebretsen
Gunnar Løvhøiden
Stein W. Ødegård

∞

FFV Gratulerer

Kongens gull til Eivind Vilhelm Thrane

Professor Eivind Vilhelm Thrane ble 5. april overrakt H.M. Kongens fortjenestemedalje i gull av fylkesmannen i Oslo og Akershus, Hans J. Røsjorde. Kongens fortjenestemedalje utdeles som belønning for fortjenester av kunst, vitenskap og næringsliv, samt for utmerket forhold i offentlig tjeneste. Når Thrane nå har fått medaljen i den edleste valøren, så må dette betraktes som en sterk anerkjennelse for det arbeid han har nedlagt over mange år til fremme for norsk forskning, spesielt romforskning som er hans spesialfelt.

Eivind V. Thrane har i mesteparten av sitt yrkesaktive liv vært knyttet til Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) der han først kom som soldat i 1955. Han tok naturvitenskapelig embetseksamen i desember 1961 med hovedoppgave innen fysikk, og ble ansatt ved FFI i 1962. Der har han siden hatt sitt faste virke, men har også hatt flere opphold som gjesteforsker og professor andre steder i Norge så vel som i utlandet. Dette inkluderer professorater i Tromsø og i Wuppertal, Tyskland. Siden 1985 har han vært professor II ved Universitetet i Oslo, tilknyttet gruppen for plasma- og romfysikk.

Thrane ble kreert dr.philos. i mars 1967. Avhandlingen omhandlet eksperimentelle studier av elektrontetthetsfordelingen i ionosfærens D-lag. Arbeidet ble utført under International Quiet Sun Year 1963-1965 og hadde også et praktisk aspekt gjennom å øke vår viten om HF radiokommunikasjon via

ionosfæren. Denne interessen for kommunikasjon har Thrane beholdt gjennom hele sin yrkesaktive karriere. Han har imidlertid dreiet sin forskning mer og mer mot studier av koblingen mellom den nøytrale og den ioniserte delen av atmosfæren. Spesielt gjelder dette studier av mesosfæren i ca. 50–100 km høyde. Thrane innså fort betydningen av å benytte vitenskapelige raketter til dette formålet da dette er eneste mulighet til å bringe instrumenter opp i de aktuelle høydene. Selv de største ballongene når ikke høyere enn ca. 45 km, og satellitter kan ikke overleve så langt nede i atmosfæren. Det er gjennom disse studiene han har gitt sine mest betydelige vitenskapelige bidrag. Spesielt har studier av turbulens stått i fokus, og der har Thrane vært en forgeangsmann for eksperimentelle studier av finskala-strukturer helt ned til størrelsesorden meter. Disse studiene har bl.a. vist hvor sporadisk og lagdelt turbulens opptrer og hvilken sammenheng dette har med brytningen av tyngdebølger i mesosfæren. Denne forskningen er senere blitt dreiet mot studier av andre typer lagdelte fenomen i mesosfæren. I første rekke gjelder dette lysende nattskyer og sterke radarekko (Polar Mesosphere Radar Echoes) som forekommer i høydeområdet 80–90 km om sommeren når temperaturen faller ned mot 100 K i disse høydene. Dette arbeidet har vært gjennomført vha. instrumenterte raketter skutt opp fra Andøya Rakettskytefelt i forbindelse med en rekke større internasjonale kampanjer. Thrane har vært initiativtager til og ledet flere av disse kampanjene, hvilket har gitt ham et internasjonalt ry innen romforskning generelt. Dette engasjementet har også i sterk grad bidratt til at Norge i dag blir betraktet som et av verdens ledende land innen disse fagområdene.

Gjennom sitt vitenskapelige arbeid har Thrane også sett begrensningene i de midler forskeren har hatt til sin rådighet for å utføre studier av mesosfæren og ionosfæren. Han har derfor over lang tid engasjert seg i utbyggingen og utvidelsen av nye og eksisterende forskningsfasiliteter, spesielt i Nord-Norge. Han har bl.a. vært med på oppbyggingen av Partial Reflection Experiment (PRE) radaren utenfor Tromsø på 70-tallet, og den stadige utvidelsen av instrumentparken tilknyttet Andøya Rakettskytefelt. Det siste gjelder ikke minst etableringen av det store ALOMAR-observatoriet med sine mange lidarer og radarer. Dette har satt forskerne i stand til virkelig å foreta detaljstudier av mesosfæren til samme tid og i samme volum, ved en kombinasjon av bakkebaserte observasjoner og *in situ* målinger vha. raketter. For sin mangeårige innsats for Andøya ble Thrane tildelt kommunens våpenskjold i 1994.

Eivind V. Thrane har gjennom flere år innehatt mange verv i ulike nasjonale og internasjonale organ. Han har bl.a. vært leder for Norsk Geofysisk Forening og har hatt styreverv i Norsk Romsenter og Andøya Rakettskytefelt. Han har også vært leder og medlem av en rekke komiteer tilknyttet Norges forskningsråd og de tidligere NAVF og NTNF. Internasjonalt har han hatt flere verv innen Committee for Space Research (COSPAR), sist som medlem av finanskomiteen i organisasjonen, og han har sittet som medlem i vitenskapskomiteen i NATO. Disse mangfoldige vervene har gitt ham en stor kontaktflate utad, noe han har vist å utnytte på en utmerket måte til fremme for norsk romforskning i alle sammenhenger.

Thrane gikk i august 2001 av med pensjon fra sin stilling som forsker ved FFI, men han har på ingen måte trukket seg bort fra romforskning. Dette er hans hjertebarn som han etter eget sigende ønsker å fortsette med så lenge som mulig. Han er fortsatt tilknyttet Universitetet i Oslo som professor II, og siden i fjor høst har han også vært tilknyttet Andøya Rakettskytefelt som forskningssjef. Arbeidet her består i første rekke i å fremme norske interesser som "forskningsambassadør" i utlandet, noe han allerede har gjort på en utmerket måte gjennom mange år.

Vi gratulerer Eivind V. Thrane med H.M. Kongens fortjenestemedalje og ønsker ham lykke til fremover og fortsatt mange gode år som aktiv forsker!

Tom A. Blix

∞

Kald fusjon – Fra revolusjon til fiasko

Bjørnar Sandnes *

Amerikanske forskere hevder å ha påvist fusjon i et eksperiment der en væske inneholdende deuterium utsettes for ultralyd.[1] Spekulasjonene går allerede om oppdagelsen representerer begynnelsen på slutten av verdens energiproblemer. Men de publiserte resultatene er omstridte, og flere forskningsmiljøer stiller seg tvilende.[2,3] Situasjonen bringer assosiasjoner til forrige gang fusjon var et hett tema, så for å beholde en viss porsjon sunn skepsis tar vi et tilbakeblikk på begivenhetene da nyheten om "kald fusjon" eksploderte i det vitenskapelige miljø og i verdenspressen.

Det vakte enorm internasjonal interesse da Stanley Pons (University of Utah) og Martin Fleischmann (University of Southhampton, England) på en pressekonferanse 23. mars 1989, annonserte at de hadde oppnådd en kontrollert fusjonsreaksjon som resulterte i et relativt stort energioverskudd. Og dette var endog gjort med enkle hjelpemidler i et glasskar ved romtemperatur. Hvis denne oppdagelsen hadde vist seg å være sann, ville ikke bare Pons' og Fleischmanns nobelpris være sikret, men verden kunne ha sett frem til en utømmelig, ren og så godt som gratis, energikilde.

Forskere over hele verden satte umiddelbart i gang med forsøk for å reprodusere Pons' og Fleischmanns resultater basert på den lille informasjonen de hadde tilgjengelig: medias dekning av pressekonferanser, TV-bilder av det eksperimentelle utstyret, og (dårlige) kopier av en upublisert artikkel. En hektisk måned fulgte med nesten daglige rapporter om forskningsgrupper rundt om i verden, som enten verifiserte, eller stadig oftere tilbakeviste, Pons' og Fleischmanns resultater.[4–7]

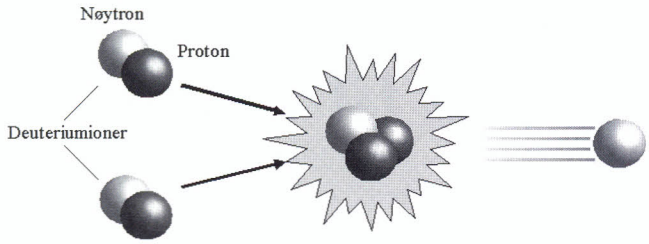
Parallelt med Pons og Fleischmann hadde en forskningsgruppe ledet av Steven Jones ved Brigham Young University (også i delstaten Utah), påvist nøytroner som de mente stammet fra fusjonsreaksjoner i et lignende eksperimentelt oppsett som Pons og Fleischmann benyttet. Gruppene ble oppmerksomme på hverandre i slutten av 1988, da Jones tilfeldigvis ble valgt som referee for Pons' og Fleischmanns søknad om prosjektmidler fra USAs energidepartement. Et løst samarbeid ble inngått mellom de to gruppene, og det ble gjort en avtale om samtidig publisering av resultatene. Men Jones ble forbigått da Pons og Fleischmann besluttet, etter påtrykk fra Universitetet i Utahs ledelse, å offentliggjøre resultatene sine på en pressekonferanse dagen før den avtalte samtidige innleveringen av resultatene til det prestisjetunge tidsskriftet *Nature*. Enorme økonomiske verdier stod på spill for universitetet og forskerne, og de fryktet at patentrettighetene deres ville bli underminert dersom de ikke kom først på banen med denne oppdagelsen.

I dag blir kald fusjon i glasskar betraktet som en vitenskapelig kuriositet. Det kan synes merkelig at Pons og Fleischmann klarte å skape slikt oppstyr da de tross alt med meget begrensede beviser hevdet resultater som gikk på tvers av den aksepterte vitenskapen. Men episoden illustrerer en rekke generelle etiske problemstillinger innen vitenskapen. For det første hvordan et usunt konkurranseforhold utviklet seg mellom de to universitetene der tidspresset resulterte i at hastverkspreget forskning ble for tidlig og overdrevent publisert. I den andre fasen etter pressekonferansen, så man det vitenskapelige miljøets reaksjon på nyheten, og både gode og dårlige eksempler på vitenskapens indre dynamikk og metoder.

Fusjon i et glasskar

En fusjon mellom lette atomkjerner gir sluttprodukter som til sammen har mindre masse enn summen av de opprinnelige elementene. Denne massediffe-ransen frigjøres som kinetisk energi for sluttproduktene, som beskrevet i Einsteins berømte formel $E = mc^2$ (se figur 1). Men for å oppnå fusjon, må

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo



Figur 1. En fusjon mellom to deuteriumkjerner frigir energi i form av kinetisk energi for sluttproduktene.

den frastøtende coloumbkraften mellom de positivt ladde atomkjernene overvinnes slik at de bringes nært nok til hverandre til at de kan bindes sammen av den kortrekkende sterke kjernekraften. I solas indre foregår fusjonsreaksjonene ved en temperatur på mellom 10 og 40 millioner grader celsius, der fusjonselementene kolliderer i voldsom fart. På jorda må en i praksis opp i over 100 millioner grader celsius for å få en kontrollert termonukleær fusjon til å opprettholdes. En over 50 år lang målrettet forskningsinnsats til mange milliarder dollar, er så langt ikke kommet i nærheten av "break even", der en får like mye energi ut av prosessen som den absorberer. Denne fusjonsforskningen er "big science" kjennetegnet av enorme installasjoner, høye kostnader og internasjonale kollaborasjoner.

Pons og Fleischmann hadde en alternativ idé som de mente var akkurat passe sprø til at den kunne virke. Fra sin kjemibakgrunn visste de at et metall som palladium har en bemerkelsesverdig evne til å absorbere hydrogenatomer. Ved å la palladium mettes med deuterium (D) i stedet for med hydrogen (H), ville kanskje deuteriumkjernene trykkes så nært sammen i metallstrukturen at det var en endelig sannsynlighet for at de fusjonerte. (Deuterium er en isotop av hydrogen med et nøytron i tillegg til et proton i kjernen, noe som øker sannsynligheten for fusjon drastisk). De frastøtende kreftene mellom kjernene skulle i denne reaksjonen overvinnes ved et intenst trykk satt opp av gitterstrukturen i metallet, ikke med temperaturer på 100 millioner grader, derav navnet "kald fusjon". Maksimal absorpsjon av deuterium skulle oppnås ved en elektrolyse av tungtvann (vann med deuteriumatomer i stedet for hydrogen, D_2O) med en palladiumstav som katode. En påtrykt strøm gjennom elektrolytten splitter D_2O-molekylene, og sluttresultatet er at O_2-gass dannes ved den positve anoden, og D_2-gass ved den negative katoden, hvor altså noe av deuteriumet absorberes av palladiumet. Ved å føre et nøyaktig regnskap over tilført energi, kjemiske reaksjoner og energistrømmer ut av systemet, ville en unormalt stor varmeproduksjon, eller overskuddsvarme, være et signal på at det faktisk ble frigjort fusjonsenergi i palladiumstaven. Innledende forsøk ga positive resultater, og det ble besluttet å gå videre med eksperimentene høsten 1988.

Steven Jones ved Brigham Young Universitetet (BYU), hadde en helt annen motivasjon og tilnærming til sin forskning på kald fusjon. Jones var utdannet fysiker og kom til BYU i 1985. Da hadde han i noen år jobbet med muon-katalysert fusjon, en høyst reell form for kald fusjon som muliggjøres ved at et muon tar over elektronets plass i et hydrogenatom. Muonet er en kortlivet partikkel som på mange måter oppfører seg som et elektron, men har 207 ganger så stor masse. Det negativt ladde muonet omkretser da 207 ganger nærmere kjernen, og skjermer derfor mer effektivt mot den frastøtende coloumbkraften mellom det muonske hydrogenet og naboatomene. Dette øker sannsynligheten for at de skal komme nært nok til å fusjonere. På BYU traff Jones geofysikeren Paul Palmer, og sammen fikk de en idé om at et overskudd av isotopen ^3He i vulkansk lava og ved undersjøiske termiske ventiler, kunne være et resultat av fusjonsprosesser katalysert av mineraler og bergarter under høyt trykk i jordens indre. Våren 1986 satte de igang eksperimenter med en elektrolytisk celle med ulike metaller, deriblant palladium, som katode. Elektrolytten ble tilsatt tungtvann for å øke muligheten for fusjon mellom deuteriumatomer, og under forsøkene ble det detektert nøytroner, et produkt av en eventuell fusjon, men bare såvidt over den naturlige bakgrunnen. Oppmuntret av de innledende forsøkene ble arbeidet med å forbedre nøytrontellerens oppløsning satt igang, og dette arbeidet ble ikke fullført før høsten 1988.

Der Pons og Fleischmann utførte kalorimetriske målinger av varmeutviklingen i sin elektrolytiske celle, målte Jones' gruppe nøytroner, et av reaksjonsproduktene i fusjonene de ønsket å detektere. Men selv om de to gruppenes målinger utfylte, og tilsynelatende bekreftet hverandre, så var det en himmelvid forskjell i størrelsen på signalet de målte. Der Pons og Fleischmann rapporterte om en varmeproduksjon som var fire ganger større enn effekten som var påsatt cellen (1 W inn, 4 W ut), målte Jones og hans medarbeidere et nøytronsignal som kun var marginalt over bakgrunnsstrålingen. Pons' og Fleischmanns varmeproduksjon tilsvarer i størrelsesorden 10^{12} fusjoner per sekund, mens Jones målte omlag én fusjonsreaksjon per hundre sekun-

der. Jones uttalte senere at han først og fremst så dette som en interessant fysisk effekt, i motsetning til Pons og Fleischmann som hadde ambisjoner om å revolusjonere verdens energiforsyning.

Kappløp mot publisering

Da Jones i september 1988 ble bedt om å gjennomgå Pons' og Fleischmanns prosjektsøknad, ba han samtidig om at departementet tok kontakt med dem for å foreslå et samarbeid. Noe formelt møte kom ikke i stand før 23. februar 1989, da Pons og Fleischmann besøkte Jones' gruppe på Brigham Young Universitetet. Der fikk de se et mer avansert laboratorium og måleserier som var langt mer komplette enn deres egne. Jones annonserte at de forberedte publisering av måledataene sine, men at de ville gi Pons og Fleischmann muligheten til å publisere samtidig. Dette kom som et sjokk på Pons og Fleischmann som ikke var i nærheten av å ha publiserbare data på dette tidspunktet. De ba innstendig om at Jones utsatte publiseringen et års tid, men for Jones var dette uaktuelt da de hadde 3 års finansiering bak seg, positive resultater å rapportere, og Jones hadde allerede takket ja til å holde et invitert foredrag for *American Physical Society* i mai. Senere ble det formelt inngått en avtale om samtidig innlevering av artikler til *Nature*. Datoen ble satt til 24. mars.

Med mindre enn en måned til den avtalte datoen, befant Pons og Fleischmann seg nå under et enormt tidspress. Selv om ikke BYU-gruppens forskning hadde direkte tilknytning til energiaspektet som var i fokus for Pons' og Fleischmanns prosjekt, følte de at om varmeproduksjon ble så mye som antydet ville deres egne opphavsrettigheter være truet. Universitetet i Utahs ledelse var nå involvert, og de så beskyttelse av patentrettighetene som sin første prioritet.

I stedet for å ta imot et tilbud om å bruke nøytronspektrometeret ved BYU, forsøkte nå Pons og Fleischmann i all hast å få utført egne nøytronmålinger for dermed å få enerett til resultatene. Et forsøk på å sende en av deres aktive celler til forskningsinstitusjonen Harwell i England, der Fleischmann hadde kontakter, måtte oppgis da det bød på visse byråkratiske problemer å få sendt et radioaktivt "fusjonsapparat" i fly over Atlanterhavet. De kom frem til en alternativ metode til å måle nøytroner på der de lot nøytronene bremses i et vannbad for så å fanges inn av protoner. Dermed emitteres gammastråling som de hadde muligheten til å måle. I løpet av to dager ble det både målt gammastråling nær en aktiv celle, og bakgrunnstråling et annet sted i laboratoriet. En topp i strålingen i forhold til bakgrunnen ble identifisert ved ca. 2500 keV der Pons og Fleischmann hadde grunn til å tro at gammastråling fra fusjonsnøytroner ville være sentrert. Det skulle senere vise seg at dette ikke var korrekt. Gammastråling fra innfanging av fusjonsnøytroner burde gi en topp på ca. 2200 keV, men under hastverk, og med et sterkt ønske om positive resultater, ble ikke de nødvendige dobbeltsjekkene gjort. Pons og Fleischmann var nå overbevist om at de både hadde målt varmeoverskudd og nøytroner som måtte stamme fra fusjonsprosesser i cellene. De så at det var et stort gap mellom varmemengden som ble målt og det beskjedne gammasignalet, men hovedsaken var at de nå hadde målt to ulike fysiske effekter som tilsynelatende underbygget hypotesen om at fusjon mellom deuteriumkjerner fant sted i palladiumkatoden.

En annen viktig begivenhet inntraff i denne perioden. 10. mars ble Pons oppringt av redaktøren for tidsskriftet *Journal of Electroanalytical Chemistry,* og samtalen kom etter hvert inn på manuskriptet de planla å skrive for *Nature* om fusjonseksperimentene. Redaktøren syntes dette hørtes veldig viktig ut, så hvis Pons sendte ham et manuskript ville han få det raskt gjennom refereeprosessen i sitt eget tidsskrift, og publisert som en "preliminary note". Pons satte seg ned og skrev i all hast første utkast til artikkelen "Electrochemically Induced Nuclear Fusion of Deuterium".[8] I hastverket ble studenten som hadde utført mye av det praktiske arbeidet, Hawkins, utelatt fra forfatterlisten, og manuskriptet inneholdt også flere feil og mangler. De eksperimentelle dataene deres ga i beste fall et varmeoverskudd på 10 % for en 1,25 cm lang palladiumstav, men i tabellene i artikkelen ble det konsekvent ekstrapolert til 10 cm lange staver uten at det gikk klart frem hvordan dette ble gjort, eller hva som var målinger og hva som var projeksjoner. Et varmeoverskudd på 1000 % ble oppgitt som en realistisk ekstrapolering til en 10 cm lang stav der også teoretiske verdier for rekombinasjon av deuterium og oksygen ble inkludert i energiregnskapet. Noe som også skulle medføre problemer senere, var deres feilaktige tro på gammatoppen ved 2500 keV som bevis på nøytroner fra fusjon av deuterium i palladiummetallet.

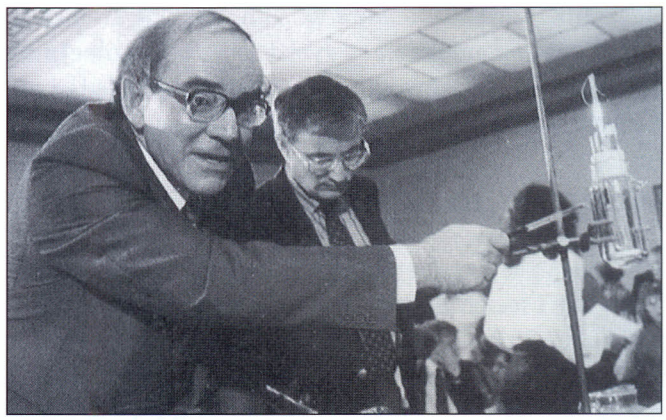
Midten av mars ble en meget hektisk periode for Pons og Fleischmann, men bitene i puslespillet var i ferd med å falle på plass, og de var nå over-

bevist om at de hadde beviser for både varmeproduksjon og fusjonsnøytroner. Men uvissheten om hva Jones' gruppe ved BYU foretok seg var til stadig bekymring. Jones kunne når som helst annonsere oppdagelsen, noe som ville være ødeleggende for deres eget patentkrav. Ledelsen ved universitetet i Utah økte nå presset. Anklager om at Jones hadde stjålet deres ideer ble fremsatt, og bak kulissene ble det nå jobbet for en offentliggjøring av resultatene før den avtalte innleveringen til *Nature*. Vanlig vitenskapelig praksis er å vente med offentliggjøring i media til man har en publisert artikkel i et vitenskapelig tidsskrift med en viss form for kvalitetssikring ved peer-review. Til tross for dette, ble det besluttet å holde en tidlig pressekonferanse med den begrunnelse at hvis denne formen for kald fusjon viste seg å være en realitet, hadde universitetet et større ansvar overfor samfunnet generelt enn overfor det vitenskapelige miljø.

Pressen var blitt behørig informert om nyheten som skulle annonseres. Den 23. mars var over 200 pressefolk, TV-team og andre nysgjerrige, presset sammen i lokalene på Universitetet i Utah. Pressen fikk her for første gang høre om hvordan det hadde lyktes de to kjemikerne å få en kontrollert termonukleær fusjon til å opprettholdes i et glasskar med tungtvann og en palladiumstav. Utstyret var fritt tilgjengelig, og eksperimentet relativt lett å sette opp. På direkte spørsmål om denne prosessen også ble utviklet av andre, svarte visepresidenten for forskning ved universitetet at de ikke kjente til noen slike eksperimenter. En sjokkert og skuffet Jones så offentliggjøringen som et klart brudd på avtalen universitetene imellom og valgte å levere inn sin artikkel til *Nature* uavhengig av Pons og Fleischmann.

Kald fusjon når forskningsmiljøet

Nyheten spredte seg raskt, og Pons og Fleischmann, tidligere relativt anonyme kjemikere, ble nå med ett verdenskjente forskere og vitenskapsmiljøets superstjerner (figur 2). Det gikk ikke ubemerket hen at nyttbar fusjonsenergi nå tilsynelatende ble en realitet som et resultat av to kjemikeres lavbudsjettforskning, og ikke av den høyteknologiske forskningen som fysikerne gjennom tiår hadde brukt milliarder av skattebetalernes penger på. "Little science" slo "big science". Fysikerne var da også de som var mest kritiske til Pons' og Fleischmanns resultater. Det ble innvendt at det faktum at Pons og Fleischmann hadde overlevd for å fortelle historien, var bevis på at hva det enn var som produserte varmen i de elektrolytiske cellene deres, så kunne det ikke være fusjon. Nøytronstrålingen ville ha tatt livet av dem for lenge siden. I deler av det kjemiske miljøet var stemningen høy, og slik surmaget kritikk ble sett på som nok et utslag av fysikeres generelle arroganse.



Figur 2. Fleischmann (t.v.) og Pons viser frem den omstridte elektrolytiske cellen på forsiden av magasinet *Time*.[7]

Den utradisjonelle publiseringsformen dannet presedens for de ukene som nå fulgte. At eksperimentet var relativt lett å sette opp, gjorde at utallige laboratorier verden over satte igang sine egne forskningsprogrammer på kald fusjon, og etter hvert begynte det å gå rykter om små laboratorier rundt om i verden som hadde verifisert Pons' og Fleischmanns effekt. Pressekonferanser ble holdt der de siste resultatene ble presentert som oftest uten noen form for dobbeltsjekk og vitenskapelig etterprøving. Men også noen litt mer akkrediterte institusjoner lot seg i denne perioden rive med. Ofte ble beslutninger om offentliggjøring tatt på høyt nivå i institusjonene, der holdningen ofte var at her stod man overfor et teknologisk gjennombrudd der den som kom tidlig på banen ville skaffe seg et stort forsprang på resten av feltet. Det gjaldt også å sikre seg opphavsrettigheter på lokalt utviklede metoder som potensielt kunne bli av stor betydning for en senere industri. Fusjonsfeberen steg mot et høydepunkt den 10. april da forskere ved Texas A&M presenterte et eksperiment som de hevdet bekreftet varmemålingene til Pons og Fleischmann. Samme dag annonserte Georgia Tech at de hadde målt nøytroner fra en aktiv celle. Den 12. april talte Pons for 7000 medlemmer av American Chemical Society på en basketballstadion i Dallas, hvor han ble tatt imot som en helt. Og da to studenter ved Universitetet i Washington den 13. april på en pressekonferanse, annonserte at de hadde observert tritium, nok et fusjonsprodukt, var ringen

sluttet. Også fra land som Italia, India og Brasil kom det rapporter om eksperimentelle resultater som bekreftet at effekten som Pons og Fleischmann beskrev var en realitet.

Men fra annet hold var problemene i ferd med å bygge seg opp for Pons og Fleischmann. Ved Harwell laboratoriet i England, fant man ikke spor etter nøytroner i sitt meget sofistikerte utstyr til tross for at Fleischmann selv tidligere hadde gitt instruksjonene om hvordan den elektrolytiske cellen skulle bygges opp, og også hadde inspisert eksperimentet. Fleischmann ga et seminar under et besøk på Harwell få dager etter den første pressekonferansen. Målingene av overskuddsvarmen vakte oppsikt, men det ble stilt spørsmålstegn ved hvorfor det ikke var blitt utført kontrolleksperimenter med vanlig vann i stedet for tungtvann. Hvis deuteriumfusjon virkelig var opphavet til varmen, ville en da raskt kunne observere at varmeproduksjonen var fraværende i cellen med vanlig vann. (Denne kritikken skulle gjentas ofte i de påfølgende ukene.) Nøytrondataene ble møtt med større skepsis av et publikum stort sett bestående av kjernefysikere. Det ble påpekt at gammatoppen for fusjonsnøytroner innfanget av protoner burde ligge nær 2200 keV, og ikke ved 2500 keV der toppen som Fleischmann presenterte lå. Det var vanskelig å se at kalibreringen av instrumentet kunne være så gal. Fleischmann underrettet senere Pons om feilen, og i alle senere presentasjoner og manuskripter figurerte den samme gammatoppen nå sentrert rundt det mer korrekte 2200 keV. Ingen rekalibrering av måleinstrumentet var foretatt i mellomtiden, det virket simpelthen som om aksene var manipulert for å få toppen ved den energien som Pons og Fleischmann nå forstod at en fusjonssignatur skulle gi.[4] Denne hendelsen gikk imidlertid upåaktet hen, og i alle publiserte artikler var det den siste versjonen, med gammatoppen ved 2200 keV, som stod på trykk.

Den første perioden etter at Pons og Fleischmann annonserte sine resultater ble dominert av rapporter fra små, ukjente laboratorier som raskt gikk ut med konfirmasjoner av den observerte effekten. Men mange av de større laboratoriene satte også igang med forsøk på å reprodusere Pons' og Fleischmanns eksperiment. Felles for mange av disse var at de kunne spille på erfaringene til en sammensatt gruppe eksperter fra ulike fagfelt. At mange av disse laboratoriene ikke kom på banen i den første hektiske tiden, skyldes nettopp at de basert på tidligere erfaringer satte opp grundige og gjennomførte eksperimenter. I stedet for å innkalle til pressekonferanse hver gang de fikk en unormal måling, var de i stand til å identifisere mulige feil som ble begått, og luke ut eksterne påvirkninger på måleoppsettet.

Det som for mange markerte slutten på hele episoden med Pons' og Fleischmanns kalde fusjon, ble møtet i *American Physical Society* 1. mai i Baltimore. Ved Caltech hadde de over lang tid utført en lang rekke detaljerte studier av eksperimentene slik de ble presentert av Pons og Fleischmann. De hadde faktisk observert mange av de samme effektene som ble beskrevet av Pons og Fleischmann, men hva mer var, de hadde kunnet identifisere en rekke feilkilder som potensielt kunne påvirke målingene. Store mengder "overskuddsvarme" kunne bl.a. enkelt oppnås ved uheldig plassering av temperatursensoren i en elektrolytisk celle med store temperaturgradienter. I tillegg til de eksperimentelle målingene, ble det gitt et sammendrag av det teoretiske grunnlaget for fusjon som konkluderte med at denne typen kald fusjon var mange størrelsesordener unna en realistisk mulighet. Pons' og Fleischmanns resultater var et resultat av "forvillelse" og "inkompetanse", ble det hevdet.

Jones' artikkel *"Observation of cold nuclear fusion in condensed matter"* stod på trykk i *Nature* 27. april 1989.[9] Deres langt mer beskjedne påstander hadde fått mildere behandling i forskningsmiljøet, men også gyldigheten av deres data ble trukket i tvil av enkelte. Pons og Fleischmann hadde også sendt sitt manuskript til *Nature*, men da referee'ene ba om mer spesifikk informasjon om utførelsen av eksperimentene, ble artikkelen trukket tilbake med begrunnelsen at i deres nåværende situasjon hadde de ikke tid til omfattende revisjoner av manuskriptet. I lederen i det samme nummeret av *Nature,* konkluderte redaktøren John Maddox med at det hadde vært moro så lenge det varte, men fenomenet Pons og Fleischmann beskrev var ikke underbygget av bevisene, og gitt dets usannsynlighet, var det trolig et resultat av en feilkilde.

Kald fusjon ble for alle praktiske formål skjøvet ut i den vitenskapelige kulden i løpet av sommeren 1989, og en rapport fra et offentlig utnevnt ekspertpanel konkluderte med at det ikke var blitt fremlagt beviser som underbygget påstanden om fusjon.[10] Pons og Fleischmann oppgav aldri sin overbevisning om at prosessen de hadde beskrevet var en realitet, og sammen med en liten, men dedikert tilhengerskare fortsatte de forskningen på fenomenet. I magasinet *Infinite Energy*[11] blir stadig nye eksperi-

menter som bekrefter effekten publisert, men i dag blir de ikke lenger tatt alvorlig av resten av det vitenskapelige miljøet.

Konklusjon

Fra Jones mottok Pons' og Fleischmanns prosjektsøknad til den første annonseringen på den mye omtalte pressekonferansen, var det den interne rivaliseringen mellom de to forskningsgruppene som stod sentralt og la premissene for forskningen som ble utført i denne perioden. Oppdagelsens enorme betydning og den potensielle belønningen, gjorde at det spesielt fra Pons' og Fleischmanns side ble utført dårlig forskning i kappløpet om først å kunne presentere sine resultater. I hastverket unnlot de å følge opp målingene med elementære kontrollforsøk, og deres slutninger bar mer preg av entusiasme og ønske om positive resultater enn av en kritisk gjennomgang av de innsamlede dataene. Da først feil var begått, og senere avsløret, var innsatsen så høy at det ble vanskelig å gå tilbake på tidligere uttalelser, og dermed måtte stadig nye tvilsomme forklaringer og resultater tas i bruk for å underbygge tidligere utsagn. En for tidlig og overdreven publisering ble også drevet fram av press fra universitetets ledelse som så det økonomiske perspektivet som avgjørende for sine beslutninger.

Vitenskapen har en innarbeidet tradisjon for hvordan vitenskapelige resultater skal presenteres. I denne står peer-review prosessen sentralt der nye resultater skal underkastes en kvalitetssjekk av andre forskere innen samme fagfelt som kritisk gjennomgår og kontrollerer metodene som er benyttet. Målet med ordningen er å luke ut umodne og feilaktige resultater før de publiseres. Det er blitt reist andre etiske betenkeligheter ved peer-review prosessen (jfr. Jones som referee for en senere konkurrents prosjektsøknad), og den kan oppleves som svært tidkrevende. Men episoden kald fusjon står først og fremst igjen som et eksempel på at det kan bære galt av sted om disse tradisjonene uten videre kastes på dør. Vitenskap på pressekonferanser etter mal av 23. mars, førte med seg at en lang rekke forskningsresultater av tvilsom kvalitet ble utbasunert for et stort og engasjert publikum. Det hersket stor forvirring om hva realitetene bak de store overskriftene egentlig var, og flere forskningsgrupper måtte gå til det ydmykende skritt å trekke tilbake resultater de noen dager i forveien hadde presentert for verdenspressen da de senere oppdaget feil i utstyr eller metoder de hadde benyttet.

Men en kan også ta et litt mer optimistisk syn på hendelsene våren 1989. Når nye resultater bringes frem for det åpne vitenskapelige miljø, vil disse bli utsatt for andre forskeres kritiske blikk og bli etterprøvd og sjekket grundig. Hvis resultatene blir stående trass i iherdige forsøk på falsifisering, vil de etter hvert bli innlemmet som en del av den aksepterte vitenskap. Hvis, som i tilfellet med kald fusjon, teorien avkreftes, vil den ende opp på vitenskapens "skraphaug". Jo viktigere konsekvensene av en ny teori er, jo raskere og grundigere vil det vitenskapelige miljø gå til verks i sitt forsøk på å bekrefte eller avkrefte den. Pons' og Fleischmanns annonsering av kald fusjon førte til en kort og intens forskningsinnsats ved en lang rekke forskningsinstitusjoner rundt om i verden. Selv om forvirringen rådet i begynnelsen, trådte etter hvert et klart bilde frem av at den påståtte effekten ikke kunne reproduseres, og etter alt å dømme var et resultat av dårlig forskerhåndtverk. Sakte, men sikkert kom forskningsmiljøene tilbake til sine egentlige forskningsprosjekter, og kald fusjon endte opp som en tragisk historie som nå er best egnet til å illustrere etiske og sosiologiske problemstillinger innen vitenskapen.

Referanser

1. R.P. Taleyarkhan, C.D. West, J.S. Cho, R.T. Lahey Jr., R.I. Nigmatulin and R.C. Block: *Evidence for nuclear emissions during acoustic cavitation.* Science, **295**, 1868–1873 (2002)
2. Leder og nyhetsartikler: Science, **295** (2002)
3. D. Shapira and M.J. Saltmarsh: *Comments on reported nuclear emissions during acoustic cavitation.* Internett: *http://www.ornl.gov/slsite/*, (2002)
4. F. Close: *Too Hot to Handle. The Race for Cold Fusion.* W.H. Allen Publishing (1990)
5. Diverse artikler: Nature, **338** (1989)
6. Diverse artikler: Science, **244** (1989)
7. *Fusion or illusion?* Time Magazine, 8. mai 1989 (1989)
8. M. Fleischmann and S. Pons: *Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium.* J. Electroanal. Chem., **261**, 301–308 (1989)
9. S.E. Jones, E.P. Palmer, J.B. Czirr, D.L. Decker, G.L. Jensen, J.M. Thorne, S.F. Taylor and J. Rafelski: *Observation of cold nuclear fusion in condensed matter.* Nature, **338**, 737–740 (1989)
10. Cold Fusion Research: *A report of the energy research advisory board to the United States Department of Energy.* Internett: *http://www.ncas.org/erab/index.html* (1989)
11. Infinite Energy: Internett: *http://www.mv.com/ipusers/zeropoint/* (2002)

∞

Ekstra dimensjoner: Science eller Fiction?

Erik Dvergsnes og Per Osland *

De siste årene har det blomstret opp en rekke nye ideer innen partikkelfysikken: man innser at det kan eksistere ekstra dimensjoner i tillegg til de tre vi allerede kjenner til. Disse nye dimensjonene kan også være relativt store uten å komme i konflikt med observasjoner. Vi skal her se nærmere på noen av disse scenariene som minner om science fiction.

Strengteori og ekstra dimensjoner

Spekulasjoner om ekstra dimensjoner – utover de tre romlige og én tid – har vært velkjente i fysikken siden oppblomstringen av strengteori på 1980-tallet. Science fiction-romaner hadde på den annen side "oppdaget" ekstra dimensjoner mye tidligere.[1]

Strengteori er den eneste kjente teorien der kvantemekanikk og gravitasjon er forenelige, og er derfor en lovende kandidat til "Teorien om alt", en enhetlig beskrivelse av alle fundamentale krefter og byggesteiner i naturen.

I motsetning til standardmodellens punktpartikler, er de fundamentale byggesteinene i strengteorien en-dimensjonale "superstrenger". Partikler som elektroner og kvarker oppstår som forskjellige svingetilstander, som "grunntoner" i naturens symfoni.[2] Denne teorien er kun matematisk konsistent dersom superstrengene har 10 dimensjoner (ni romlige og én tid) tilgjengelig, noe som tilsynelatende strider mot det faktum at vi kun observerer fire dimensjoner. Om man vil holde strengteoriens muligheter åpne, må man derfor forklare hvor de resterende seks romlige dimensjonene er blitt av. I moderne versjon som M-teori, kreves 11 dimensjoner, 10 romlige og én tid.

Det har lenge vært antatt at strengteoriens ekstra dimensjoner er "krøllet sammen" på en finurlig måte, slik at de ikke kan observeres ved avstander større enn plancklengden, 10^{-35} m. Dette er langt hinsides det eksperimentelt målbare som ved LEP/CERN og Fermilaboratoriet (nær Chicago) er presset ned mot imponerende 10^{-19} m (se Boks 1).

*Fysisk institutt, Universitetet i Bergen

Boks 1. Coulomb og Newton

Ned til hvilke avstander er Coulombs og Newtons lover undersøkt eksperimentelt?

Når det gjelder elektromagnetisme, har man ved LEP testet denne (og i tillegg, sterk og svak kjernekraft) med en oppløsning på $l \approx 10^{-19}$ m. Disse eksperimentene er derimot lite egnet til å teste gravitasjonskraften.

For å teste Newtons gravitasjonslov, benytter man i stedet eksperimenter av Cavendish-typen (utført allerede i 1798), der man direkte måler gravitasjonskraften som virker mellom to objekter. Fram til 1998 var ikke denne loven eksperimentelt testet på avstander under 1 mm, men senere har presise eksperiment bekreftet at den er korrekt ned til $l \approx 10^{-4}$ m.

Til sammenlikning er atomære størrelser av orden 10^{-10} m.

Elektromagnetisme og tyngdekraft

Elektromagnetisme og tyngdekraft har mye til felles. Newtons gravitasjonslov er som kjent

$$F(r) = -G_{\mathrm{N}} \frac{m_1 m_2}{r^2}, \qquad (1)$$

der r er avstanden mellom de to massene. Coulombs lov har samme form; kraften mellom to ladninger øker også ved avtagende avstand som $1/r^2$.

At disse kreftene avhenger av avstanden som $1/r^2$ er betinget av at kreftene opererer i et tredimensjonalt rom. Siden en kuleflates areal (i tre dimensjoner) er proporsjonalt med r^2, vil fluksbevarelse gi kreftene denne form.

Hvis antallet romlige dimensjoner derimot er forskjellig fra tre, ville denne r-avhengigheten være forskjellig. Dette åpner for en mulighet til å *telle* antallet dimensjoner ved presise målinger av disse kreftene ved korte avstander. Men eventuelle ekstra dimensjoner kan ikke være tilgjengelige for elektro-

magnetisme eller gravitasjon ved avstander større enn dem vi har nevnt i Boks 1.

Ifølge kvanteteorien kan vi beskrive kraften mellom to ladninger ved utveksling av fotoner. På samme måte antas gravitasjonskraften å kunne beskrives ved utveksling av gravitoner. Siden disse kreftene har uendelig rekkevidde, må både fotoner og gravitoner være masseløse. Gravitoner er ikke påvist eksperimentelt, men en første indikasjon på kvante-effekter i gravitasjonsfeltet er nettopp publisert.[3]

Vi skal se at ekstra dimensjoner ville lede til massive gravitoner i tillegg til de masseløse, og at slike kanskje kunne observeres. Observasjon av massive gravitoner ville være en indikator på ekstra dimensjoner, et alternativ til måling av tyngdekraftens r-avhengighet ved korte avstander.

Problemet med tyngdekraften

En av de store drømmene innen fysikken er å forene tyngdekraften med de andre fundamentale kreftene i én og samme teori. Men et tilsynelatende alvorlig hinder for dette, er det såkalte hierarkiproblemet: *Hvorfor er tyngdekraften så svak i forhold til de andre fundamentale kreftene?* Eller, sagt på en annen måte, uttrykt ved de lengdene eller massene man kan danne av de aktuelle naturkonstantene: *Hva er årsaken til den store forskjellen mellom planckmassen og fermimassen?* (Se Boks 2.)

Boks 2. Planck og Fermi

Gravitasjonskraften er beskrevet av Newtons konstant, G_N, mens svake vekselvirkninger er gitt ved Fermis konstant, G_F, som bl.a. beskriver raten for beta-henfall. Dersom disse konstantene kombineres med lyshastigheten, c, og Plancks konstant, $\hbar = h/2\pi$, på passende vis, kan man konstruere "naturlige" masser og lengder som er karakteristiske for de respektive kreftene.

Planckmassen:

$$M_{\rm Pl} = \sqrt{\hbar c/G_N} \simeq 10^{19}\ \text{GeV}/c^2$$

Fermimassen:

$$M_F = \sqrt{\hbar^3/c\,G_F} \simeq 300\ \text{GeV}/c^2$$

Plancklengden:

$$l_{\rm Pl} = \sqrt{G_N\hbar/c^3} \simeq 10^{-35}\ \text{m}$$

Fermilengden:

$$l_F = \sqrt{G_F/\hbar c} \simeq 10^{-19}\ \text{m}$$

Disse massene og lengdene er vidt forskjellige. Dette er hierarkiproblemet.

Dersom denne teorien er en kvantefeltteori, som er den typen teori som beskriver sterk og svak kjernekraft samt elektromagnetisme, måtte man på grunn av hierarkiproblemet kreve en ekstrem finjustering av parametrene. Dette anses som "unaturlig".

I 1998–99 kom to ideer som skulle løse hierarkiproblemet. De ledet samtidig til et radikalt nytt syn på strengteoriens ekstra dimensjoner, og gav opphav til to familier av modeller, referert til som henholdsvis ADD- og RS-scenariene.

ADD-scenariet

Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos og Gia Dvali[4] foreslo i 1998 at noen av strengteoriens ekstra dimensjoner kunne være av størrelsesorden millimeter, *forutsatt at de var "usynlige" for alle krefter unntatt gravitasjon.* (Innen strengteorien er det fullt mulig at gravitasjonskraften kan operere i flere dimensjoner enn de andre kreftene.) Slike ekstra dimensjoner kalles *store*, de er store i forhold til plancklengden.

At noen bølger ikke stråler ut i alle dimensjoner, ser vi i overflatebølger på vann. De utbrer seg langs en to-dimensjonal overflate, mens lyset fra vannoverflaten kan nå oss i det tre-dimensjonale rommet. På samme måte kan lysbølger, eller fotoner, i ADD-scenariet ikke nå de ekstra dimensjonene, ellers ville så store dimensjoner vært oppdaget for lenge siden (jfr. Boks 1).

Ifølge ADD kunne derimot gravitoner bevege seg i ekstra dimensjoner, så dersom man kunne lage et "mikroskop" basert på gravitasjonskraften eller gravitoner, ville man kunne "se" slike dimensjoner.

Dersom gravitasjonskraften på korte avstander opererer i flere enn tre romlige dimensjoner, vil dette føre til avvik fra Newtons gravitasjonslov. I stedet for den velkjente likning (1), vil man få

$$F(r) \propto \frac{m_1 m_2}{r^{2+d}}, \qquad (2)$$

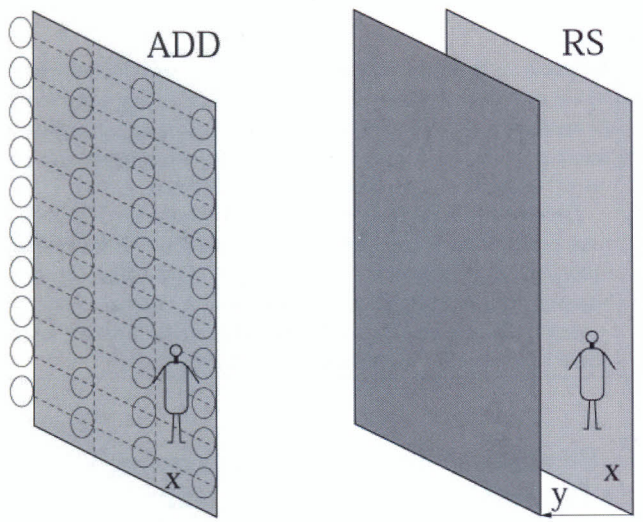
hvor d er antallet ekstra dimensjoner. Med $d = 2$ ville altså gravitasjonskraften ved korte avstander blitt omvendt proporsjonal med r^4 i stedet for r^2.

Dersom det finnes slike ekstra dimensjoner som beskrevet ovenfor, ser vi av likning (2) at gravitasjonskraften vil øke mye raskere når avstanden avtar. Hierarkiproblemet løses ved at gravitasjonskraften blir sammenlignbar med de andre kreftene allerede ved avstander av størrelsesorden fermilengden. Ved kortere avstander ville da strengteori

overta. Den tilsvarende energi eller masseskala, kalt strengskalaen, ville bli av orden noen TeV i stedet for 10^{19} GeV.

RS-scenariet

Lisa Randall og Raman Sundrum[5] foreslo i 1999 en alternativ måte å løse hierarkiproblemet på. I dette scenariet består universet av "flak" (matematisk referert til som "braner", en generalisering av membraner til høyere dimensjoner) i et høyeredimensjonalt rom. I enkleste versjon av dette RS-scenariet er det bare to flak og én ekstra dimensjon. Vanlig materie, inkludert fysikere, befinner seg på det ene flaket, og annen materie befinner seg på det andre flaket, som for oss er skjult. Her brukes begrepet "flak" om en fire-dimensjonal (tre romlige og én tid) verden (se figur 1).



Figur 1. Høyeredimensjonale scenarier.
ADD-scenariet: Vårt univers har i tillegg til tiden, tre romlige dimensjoner (x-rom). En ekstra dimensjon er her representert ved lukkede sirkler av omkrets R i hvert "punkt" i x-rommet. Den ekstra dimensjonen er periodisk, uten begynnelse eller endepunkt, og kalles derfor "kompakt". For eksperiment med oppløsningsevne dårligere enn R, er en slik dimensjon usynlig. *RS-scenariet*: To x-rom, adskilt med avstand $y = R$ i en femte dimensjon. Hvert x-rom refereres til som et "flak".

I RS-scenariet starter man med å anta at man har såkalt ikke-faktoriserbar geometri. Det betyr her at geometrien til det fire-dimensjonale flaket avhenger (eksponentielt) av flakets plassering i den femte dimensjonen, y. Dette spesielle valget av geometri får også en rekke andre følger, som f.eks. at gravitasjonskraften blir "svekket" på vårt flak i forhold til det skjulte flaket. Dette kan løse hierarkiproblemet ved at alle fundamentale masser på vårt flak er eksponentielt små (av orden fermimassen) i forhold til dem på det andre flaket som er av størrelsesorden planckmassen.

Massive gravitoner

I ADD-scenariet leder kvantefysikkens grensebetingelser i de ekstra, kompakte dimensjonene til såkalte *Kaluza–Klein-eksitasjoner* av gravitonet. Bølgefunksjonen til gravitonene må være entydig og derfor periodisk, i de ekstra dimensjonene,

$$\psi(x, y + R) = \psi(x, y)$$

hvor $x = (ct, x_1, x_2, x_3)$ refererer til de fire dimensjonene vi observerer, mens y refererer til én eller flere ekstra dimensjoner av utstrekning R. For fri bevegelse i y-retningen med impulskomponent p_y, antar man en bølgefunksjon av formen $\exp[ip_y y/\hbar]$. Periodisitet leder derfor til kvantiseringen

$$p_y R = 2\pi\hbar n,$$

hvor $n = 0, 1, 2, 3, \ldots$

Sett fra det høyeredimensjonale rommet har gravitonet, som er masseløst, en energi

$$E = c\sqrt{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_y^2}.$$

Sammenlikner vi dette med formelen for energien til en partikkel med masse m_n i tre romlige dimensjoner,

$$E = c\sqrt{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + m_n^2 c^2},$$

ser vi at gravitonet tilsynelatende har en masse gitt ved Kaluza–Klein-formelen:

$$m_n = \frac{p_y}{c} = n\,\frac{2\pi\hbar}{cR}, \quad n = 0, 1, 2, 3, \ldots \qquad (3)$$

Dette ekvidistante massespektret kalles et Kaluza–Klein-tårn. Med ekstra dimensjoner av størrelsesorden $R \sim 1$ mm, vil man ha massive gravitoner med masse fra meV/c^2 og oppover (1 meV=10^{-3} eV, 1 GeV=10^9 eV, 1 TeV=10^{12} eV; 1 meV/$c^2 = 1,78\ldots \times 10^{-39}$ kg).

Kvantefysikkens grensebetingelser i RS-scenariet er forskjellige fra betingelsene i ADD-scenariet. Massesplittingene mellom Kaluza–Klein-gravitonene blir derfor, i motsetning til i ADD-scenariet, ikke ekvidistante og av orden fermimassen (fra

300 GeV/c^2 til noen TeV/c^2). En vesentlig forskjell er at selv om det er færre gravitoner tilgjengelig i RS-scenariet, vekselvirker de mye sterkere med vanlig materie enn gravitonene i ADD-scenariet.

Astrofysiske observasjoner

Disse radikale scenariene er merkelig nok ikke i konflikt med eksisterende data, noe som i hovedsak skyldes at man vet så lite om gravitasjonskraften ved korte avstander. Den enkleste versjonen av ADD-scenariet, med bare én ekstra dimensjon, er ekskludert av observasjoner fordi R måtte ha vært av størrelsesorden 10^8 km, som er sammenlignbart med avstanden fra sola til jorda.

For to eller tre ekstra dimensjoner fins det astrofysiske restriksjoner som bl.a. kommer fra hvordan supernovaers lysstyrke avtar med tiden. Slike avkjølinger ville gått mye raskere dersom supernovaene kunne sende ut Kaluza–Klein-gravitoner.

For flere ekstra dimensjoner, eller for scenarier med litt andre randkrav, kan man derimot unngå konflikt med disse observasjonene.

Eksperimentell partikkelfysikk

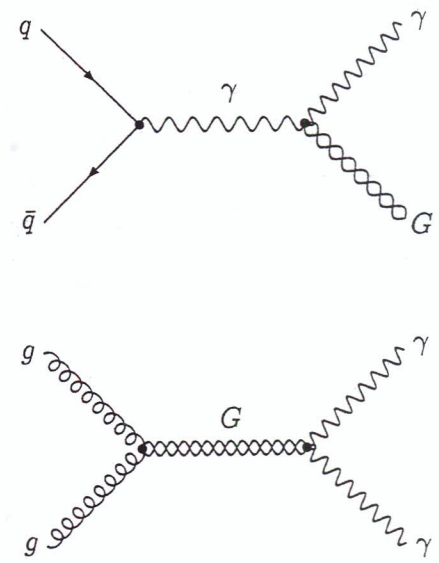
Disse scenariene leder også til forutsigelser som kan testes ved akseleratorer. Eksperimentene ved LEP/CERN og Fermilaboratoriet har allerede etablert grenser for strengskalaen i ADD-scenariet, og for gravitonmassene i RS-scenariet av orden 1 TeV.

Jakten på ekstra dimensjoner vil fortsette i 14 TeV proton-protonkollisjoner ved CERNs Large Hadron Collider (LHC) og i elektron-positronkollisjoner ved framtidige lineære akseleratorer som DESYs (nær Hamburg) foreslåtte TESLA.

Selv om gravitonene i ADD-scenariet kobler svakt til annen materie, vil det pga. det enorme antallet gravitontilstander likevel være en endelig og kanskje målbar, sannsynlighet for at gravitoner kan bli produsert ved LHC (se Boks 3). Disse gravitonene vil unnslippe og først henfalle lenge etter at de har forlatt detektoren.

Gravitoner som unnslipper kan gi seg til kjenne ved en ubalanse i impuls. Dette er analogt med produksjon av et nøytrino bortsett fra at nøytrinoet vil ledsages av en ladd partikkel som normalt vil bli detektert. Siden andre modeller også kan lede til ubalanse i transversal impuls, må man selvfølgelig gå meget grundig til verks for å avgjøre hvilke løsninger naturen har valgt.

Boks 3 Feynman-diagrammer



Eksempler på Feynman-diagrammer for gravitonutsendelse og gravitonutveksling. *Øverst*: kvark (q) og antikvark ($\bar{q}$) annihilerer via et foton (γ) til et foton og et massivt graviton (G). *Nederst*: to gluoner (g) annihilerer via et massivt graviton som henfaller til to fotoner.

Den øverste prosessen bidrar til ubalanse i impuls, mens den nederste gir økt fotonproduksjon. Gravitonene kobler til alle partikler med energi, inkludert fotoner (bøyning av lys i sterke gravitasjonsfelt er påvist eksperimentelt). Denne koblingen bryter regelen at fotonet bare kobler til partikler med elektrisk ladning.

En annen måte ekstra dimensjoner vil kunne gi seg til kjenne på er ved økt produksjon av energetiske leptonpar, f.eks. et elektron og et positron, eller fotonpar som en følge av gravitonutveksling. Dette kan forekomme innen RS-scenariet, hvor gravitonene kobler med elektrosvak styrke til ordinær materie. Hvis slike gravitoner produseres, vil de på grunn av sin korte levetid henfalle innenfor detektoren til partikler som direkte kan observeres.

Leptonpar eller fotonpar fra gravitoner ville ha en karakteristisk vinkelfordeling i forhold til innkommende partikkelstråler. I elektron-positronkollisjoner ville vinkelfordelingene kunne måles med svært høy presisjon.

Slike hendelser kan også genereres innen ADD-scenariet ved at et stort antall gravitoner samvirker, de utveksles koherent. Selv om hver av dem kobler veldig svakt, vil de fordi de er så mange, gi et vesentlig bidrag til produksjon av slike sluttilstander. På grunn av den store massesplittingen

mellom RS-gravitonene, vil de to scenariene kunne adskilles ved at hendelsesraten i dette tilfellet har skarpe, isolerte resonanser for energier som tilsvarer disse massene.

Øvrige scenarier

I denne artikkelen har vi skissert ADD- og RS-scenariene. I tillegg til disse finnes en mengde andre scenarier som ofte bygger på ideene fra ADD eller RS. I noen versjoner av disse modellene er én eller flere ekstra dimensjoner tilgjengelige for vanlig materie, men da kommer straks restriksjonene fra LEP og Fermilaboratoriet inn i bildet og forteller oss at slike ekstra dimensjoner maksimalt kan være av orden 10^{-19} m.

En annen mulighet er at man f.eks. innfører ekstra flak og eventuelt endrer konfigurasjonen. Randall og Sundrum har også foreslått at en ekstra dimensjon faktisk kan være uendelig i utstrekning. De unngår å komme i konflikt med eksperimentelle data ved å la gravitonets bølgefunksjon være lokalisert på vårt flak. Det er også foreslått alternativer til Big Bang basert på RS-liknende modeller med kolliderende flak.

Dersom store ekstra dimensjoner viser seg å være realisert i naturen, har vi en rekke interessante signaler i vente ved LHC. Det kan i tillegg til de nevnte fenomenene være produksjon av sorte hull, Kaluza–Klein-tårn av gravitoner, eller et rikt spekter av strengeksitasjoner. I løpet av det neste tiåret vil man enten kunne bekrefte eller avkrefte de fleste av disse teoriene og få svar på spørsmålet om dette er Science eller Fiction.

Vi vil få takke Anne Grete Frodesen for stor hjelp med å belyse disse scenariene.

Referanser

1. E.A. Abbott: *Flatland: A Romance of Many Dimensions (by A. Square).* Penguin Books, New York (1998) (først publisert: Seeley & Co, Ltd, London, 1884)
2. B.R. Greene: *The elegant universe: superstrings, hidden dimensions, and the quest for the ultimate theory.* W.W. Norton, New York (1999)
3. V.V. Nesvizhevsky et al.: *Quantum states of neutrons in the Earth's gravitational field.* Nature **415**, 297 (2002)
4. N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos and G. Dvali: *The hierarchy problem and new dimensions at a millimeter.* Phys. Lett. B **429**, 263 (1998); http://xxx.lanl.gov/abs/hep-ph/9803315; N. Arkani-Hamed, S. Dimopoulos and G. Dvali: *The universe's unseen dimensions.* Sci. Am. **283**, No. 2, p 48, Aug. (2000)
5. L. Randall and R. Sundrum: *A large mass hierarchy from a small extra dimension.* Phys. Rev. Lett. **83**, 3370 (1999); http://xxx.lanl.gov/abs/hep-ph/9905221

∞

HUSK Å MELDE ADRESSEFORANDRING

NTNU

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet i Trondheim har teknologi og naturvitskap som hovudprofil og elles eit breitt fagtilbod i medisin, samfunnsvitskap, humaniora og kunstfag. NTNU er landets nest største universitet med meir enn 19 000 studentar og kring 3 200 tilsette. Budsjettet er på om lag 2,1 milliardar kroner.

Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi

Kvalifiseringstipend øremerket kvinner ved Institutt for petroleumsteknologi og anvendt geofysikk med spesialområde miljø, ingeniør- og malmgeofysikk

Spesialfeltet for stillingen er elektriske og elektromagnetiske metoder innen anvendt geofysikk.
Det har vist seg vanskelig å finne kvalifiserte kvinner til et professorat innen dette fagfeltet. Derfor søkes det etter kvinner med doktorgrad innen fysikk eller elektroteknikk til et 3-årig kvalifiseringsstipend. Søkeren bør også ha en bakgrunn med relevant forskningspraksis som kan telle med i den endelige vurderingen for professoratet etter 3 års stipendperiode.
Nærmere opplysninger ved professorene
Ole Bernt Lile, tlf. 73 59 49 48, e-post: oleb@ ipt.ntnu.no eller Jon Kleppe, tlf. 73 59 49 33, e-post: kleppe@ipt.ntnu.no.
Søknaden sendes NTNU, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, 7491 Trondheim. Merk søknaden med ref.nr IVT 51/02.
Søknadsfrist: 01.09.02.

Se fullst. utlysningstekst i Norsk lysingsblad nr. 126, 6. juni 2002, og på NTNUs hjemmesider http://nettopp.ntnu.no/

CICERO

Universet som nøytrinovekt: En ny øvre grense for nøytrinomassen

Øystein Elgarøy *

Nøytrinoer er til stede i rikelige mengder i vårt univers. Siden vi nå har sterke indikasjoner på at de er massive, bidrar de til den totale massetettheten i universet. Ved å studere hvordan materien er fordelt, kan man bruke universet som en "nøytrinovekt", og astronomer har nylig bestemt en ny øvre grense for summen av nøytrinomassene.

Innledning

I de sene 1920-årene strevde mange fysikere med å forstå beta-henfall av atomkjernen, det vil si prosesser der et nøytron går over til et proton med utsendelse av et elektron. Hvis dette var hele historien, skulle man bare observere elektroner med én bestemt energi, bestemt av forskjellen i bindingsenergi mellom sluttkjernen og begynnelseskjernen. Men det man fant i eksperimentene var noe helt annet: elektronet kunne ha praktisk talt alle energier mellom null og den forventede energien! Hvor resten av energien ble av, var en gåte, og det var nærmest i desperasjon at Wolfgang Pauli i 1930 foreslo å løse problemet ved å innføre en ny partikkel, nøytrinoet, som ble utsendt sammen med elektronet i reaksjonen. Den tilgjengelige energien ville da kunne fordeles på ulike måter mellom de to partiklene, og dermed kunne man forklare eksperimentene. Men Pauli selv var ikke begeistret for denne løsningen. Hans hypotetiske partikkel måtte nemlig ha egenskaper som gjorde den nesten umulig å observere: den kunne ikke ha elektrisk ladning, ikke påvirkes av den sterke kjernekraften som holder protonene og nøytronene i atomkjernen sammen, og den måtte være svært lett, muligens masseløs.

Tross Paulis pessimisme har det vært mulig for partikkelfysikere å vise at nøytrinoer virkelig finnes, og bestemme noen av deres fundamentale egenskaper. For eksempel vet vi at det finnes bare tre forskjellige typer nøytrinoer, og at de er forbundet med de tre leptonene: elektronet, myonet og taupartikkelen.

Lenge trodde man at nøytrinoene, i likhet med fotonet, ikke hadde noen masse. At fotonene ikke har masse kan føres tilbake til et fundamentalt prinsipp i kvanteteorien for elektromagnetismen, men det finnes imidlertid ikke noe tilsvarende fundamentalt prinsipp som sier at nøytrinoene ikke kan ha masse. Siden 1996 har observasjoner av nøytrinoer fra det indre av solen og de som skapes i reaksjoner mellom kosmisk stråling og jordens atmosfære, vist at ikke alle de tre nøytrinoene kan være masseløse.[1] Dessverre kan ikke disse observasjonene fortelle oss nøyaktig hvor stor massen er. Teoretikere har utarbeidet mange ulike modeller for å forklare hvorfor nøytrinomassene er så mye mindre enn massene til andre elementærpartikler. Felles for disse er at de gjør bruk av teorier som går utover den såkalte standardmodellen for partikkelfysikk (se f.eks.[2] for en oversikt over standardmodellen). Det ville derfor være meget interessant å bestemme massene til nøytrinoene, fordi de vil gi hint om hvordan standardmodellen kan utvides.

Mørk materie

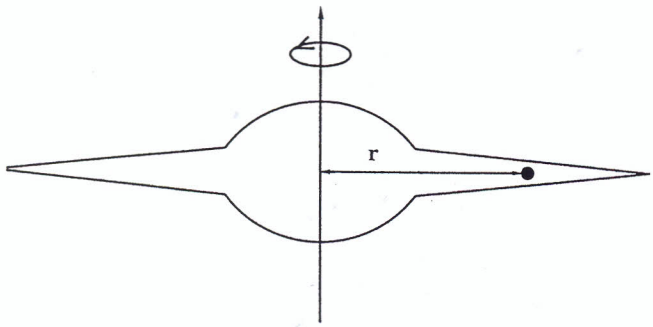
Det har lenge vært kjent at det finnes mer materie i universet enn vi kan se på den lysende stjernehimmelen. Vi vet nå at de lysende delene av universet, som f.eks. stjerner, bare utgjør en liten brøkdel av den totale massen. Et klassisk eksempel kommer fra spiralgalaksene. I figur 1 har vi plassert en stjerne med masse m i en sirkulær bane i avstand r fra galaksens senter. Dersom $M(r)$ betegner massen innenfor avstanden r, har vi fra Newtons 2. lov at

$$G\frac{M(r)m}{r^2} = m\frac{v^2}{r}, \qquad (1)$$

*Institute of Astronomy, University of Cambridge, UK

der G er gravitasjonskonstanten og v er stjernens omløpshastighet rundt galaksens senter. Ligning (1) gir

$$v = \sqrt{\frac{GM(r)}{r}}. \qquad (2)$$



Figur 1. En skjematisk modell av en spiralgalakse.

Langt fra kjernen er $M(r) \approx$ konstant, og vi skulle derfor forvente at omløpshastigheten faller som $1/\sqrt{r}$. Men det man observerer, er at hastigheten flater ut og nærmer seg en konstant langt fra galaksekjernen. Den aksepterte forklaringen på dette er at det må være mer materie i galaksene og i universet enn den som sender ut elektromagnetisk stråling. Denne materien kalles naturlig nok for *mørk materie*. Oppførselen til rotasjonshastigheten kan forklares dersom galaksen er omgitt av en "glorie" av mørk materie med massetetthet proporsjonal med $1/r^2$. Faktisk ser det ut til at det trengs mer mørk materie for å forklare rotasjonskurvene enn det som er konsistent med hva vi vet om dannelse av grunnstoffer i det tidlige univers, dvs. at en god del av den mørke materien er ikke-baryonisk. Kandidater som er blitt foreslått inkluderer massive nøytrinoer, samt mer eksotiske partikler fra teorier som går ut over standardmodellen for partikkelfysikk.

Dannelse av strukturer i universet

En av de viktigste utfordringene i kosmologien er å forstå hvordan strukturene i universet ble dannet. I kosmologien er galaksene de minste strukturene man studerer. Disse inneholder fra 10^6 til 10^{12} stjerner og er i utstrekning fra noen få tusen til noen hundre tusen lysår. Galaksene har en tendens til å klumpe seg sammen i hoper, som kan inneholde fra noen titalls til noen hundre galakser, og disse hopene danner igjen superhoper som strekker seg over flere hundre millioner lysår. Det er nærliggende å tro at det er gravitasjon som driver strukturdannelsen, siden det er den eneste kraften som påvirker alle partikler og som virker over store avstander. For å foreta de store og kompliserte beregningene, må man imidlertid først vite hvordan fluktuasjonene så ut ved et valgt startstidspunkt, og egenskapene til partiklene som bidrar til masse-energitettheten i universet.

Når det gjelder masse-energi-innholdet i universet, så tyder observasjonene på at vi trenger minst fire forskjellige komponenter. For det første har vi vanlig, baryonisk materie. I tillegg må vi ta med et bidrag fra elektromagnetisk stråling, siden den kosmiske bakgrunnstrålingen viser oss at vi er omgitt av en jevn strøm av fotoner som spilte en viktig rolle i det tidlige univers. Vi har også sett at vi trenger en eller annen form for mørk materie. Til sist tar vi med den såkalte kosmologiske konstant. Einstein innførte denne opprinnelig for å kunne lage en statisk modell av universet, og etter at Hubble påviste at universet ekspanderer, kalte han den kosmologiske konstant for 'sitt livs største tabbe'. Observasjoner av Type Ia supernovaer tyder imidlertid på at universet nå er inne i en fase av akselerert ekspansjon, noe som kan beskrives ved å gjeninnføre den kosmologiske konstant.[3] Den fysiske tolkningen av denne er ennå usikker, men sannsynligvis er den relatert til kvantemekanisk vakuumenergi. Hvis massefordelingen i universet var perfekt jevn i utgangspunktet, ville ikke gravitasjon alene kunne produsere strukturer: universet ville ha fortsatt som en jevn "suppe" av partikler med en tetthet som avtok etter hvert som universet utvidet seg. Vi må derfor anta at det på et tidlig tidspunkt oppsto ujevnheter i massefordelingen, og det er ganske bemerkelsesverdig at de mest populære modellene for det veldig tidlige univers, inflasjonsmodellene, forutsier at slike ujevnheter skal oppstå som et resultat av kvantefluktuasjoner, og gir en realistisk form for hvordan ujevnhetene ser ut på ulike lengdeskalaer. I tillegg til formen på ujevnhetene, må vi også vite forholdene mellom massefluktuasjonene i de ulike komponentene. Observasjoner av fluktuasjonene i den kosmiske bakgrunnstrålingen er konsistent med at fluktuasjonene er av en slik form at entropi per baryon er bevart. Slike fluktuasjoner kalles adiabatiske.

Med disse utgangsbetingelsene kan man så ta fatt på beregningene av hvordan fluktuasjonene vil utvikle seg med tiden i et ekspanderende univers. Hvorvidt en massefluktuasjon vokser eller avtar med tiden, bestemmes delvis av forholdet mellom trykk-

krefter og gravitasjon: vinner gravitasjonen, vokser ujevnheten; vinner trykket, vil den oppføre seg som en dempet bølge og raskt viskes ut.

Egenskapene til den mørke materien spiller også en viktig rolle for utviklingen av massefluktuasjonene. En av de viktigste er rett og slett hastighetene til mørk-materiepartiklene. En grovt forenklet måte å forstå dette på, er å tenke på unnslippingshastigheter. Vi tenker oss det ekstreme tilfellet at vi har et kuleformet område med masse M og radius R, at tettheten er 0 utenfor, og at en partikkel med masse m og fart v i utgangspunktet befinner seg på overflaten av området. For at partikkelen skal være fanget i tyngdefeltet til fluktuasjonen, må vi ha

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{R} < 0, \qquad (3)$$

dvs. at

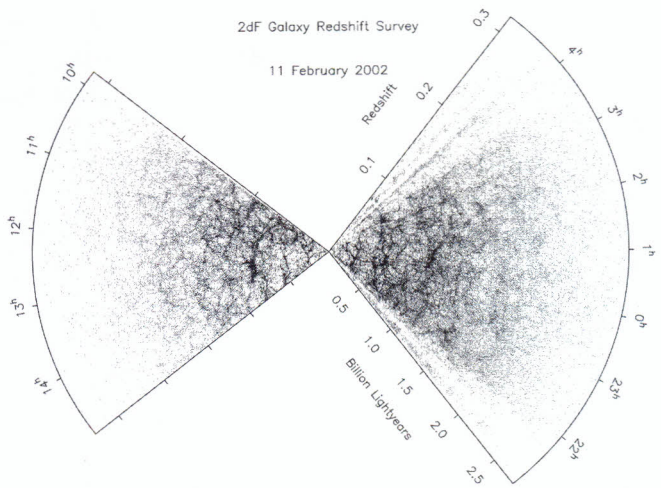
$$\frac{GM}{R} > \frac{v^2}{2}. \qquad (4)$$

Dersom denne ulikheten ikke er oppfylt, vil partikkelen unnslippe fra tyngdefeltet til fluktuasjonen og dermed hindre den i å vokse. For strukturdannelse i universet er derfor de termiske hastighetene til partiklene viktige, og disse avhenger av k_BT/m, der T er temperaturen og k_B er Boltzmanns konstant. For en gitt temperatur har lette partikler høyere termiske hastigheter, og kalles 'hete', mens tunge partikler kalles 'kalde'. Siden temperaturen i universet avtar med utvidelsen, vil før eller senere alle partikler bli 'kalde', men for de lette partiklene tar det lenger tid, og de vil på grunn av sine høye termiske hastigheter motvirke dannelse av strukurer ved gravitasjonskollaps.

Dersom nøytrinomassene er av størrelsesorden elektronvolt (eV), hadde de høye termiske hastigheter fram til universet var et par tusen år gammelt. Inntil denne tiden gjorde de det vanskelig å danne strukturer i liten skala, og dermed vil nøytrinomassen gjøre seg gjeldende i universet ved en reduksjon i strukturer på liten skala, der 'liten' i denne sammenheng betyr mindre enn noen titalls milliarder lysår. Ved å kartlegge massefordelingen i universet, er det derfor mulig å få hint om hva nøytrinomassene kan være.

2dFGRS-prosjektet

Astronomer har lenge arbeidet med å kartlegge fordelingen av den lysende materien i universet. Et team bestående hovedsaklig av britiske og australske astronomer, er i ferd med å avslutte det såkalte *'2 degree-field Galaxy Redshift Survey'* (2dFGRS).[4] Ved å bruke det anglo-australske teleskopet i New South Wales i Australia, har de laget den største eksisterende katalogen med over 220 000 galakser og deres rødforskyvning. Kjenner man rødforskyvningen til en galakse, kan man i prinisippet også bestemme avstanden til den, og sammen med posisjonen på himmelkula har man da posisjonen til galaksen i det tre-dimensjonale rommet, og dermed kan man lage et kart over fordelingen av den lysende materien i universet. Et team av rundt tredve astronomer jobber med å analysere resultatene. Det er en nær sammenheng mellom ujevnheter i den mørke og i den lysende materien, så ved å studere resultatene fra 2dFGRS kan man også lære om den mørke materien. Figur 2 viser en projeksjon av 2dFGRS-galaksene, der posisjon på himmelkula er angitt langs sirkelbuen, og rødforskyvning/avstand er vist i radialretningen. Merk at "oversettelsen" fra rødforskyvning til avstand forutsetter at man kjenner Hubbles konstant.



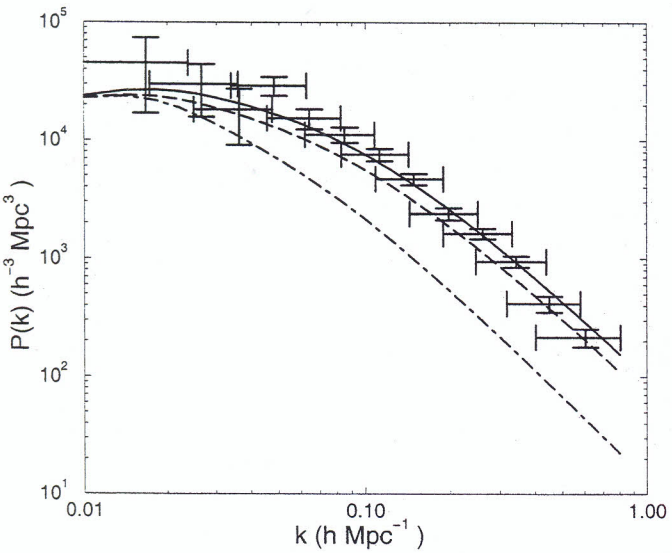
Figur 2. En todimensjonal fremstilling av galaksefordelingen observert av 2dFGRS.

Begrensninger på nøytrinomassen fra 2dFGRS

Siden nøytrinomassen påvirker strukturdannelsen i universet, kan man sette grenser for dens størrelse ved hjelp av 2dFGRS. Dette ble nylig gjort ved å sammeligne den observerte galaksefordelingen med teoretiske beregninger av hvordan materien vil fordele seg i universmodeller med forskjellige verdier for nøytrinomassene.[5] Fra dette møtet mellom teori og observasjon, kunne man konkludere at sum-

men av nøytrinomassene høyst er 2 eV, omtrent 2 milliarddeler av massen til et hydrogenatom. Videre kan nøytrinoene utgjøre høyst en femtedel av den mørke materien.

Analysen ble foretatt ved å beregne den relative størrelsen av massefluktuasjonene på forskjellige lengdeskalaer i ulike universmodeller, det såkalte styrkespekteret for massefluktuasjonene. Dette er en effektiv metode for å komprimere de viktigste trekkene ved massefordelingen til noen få tall. Styrkespekteret kan også bestemmes for 2dFGRS-dataene, og dermed kan man sammenligne modell og virkelighet. Den heltrukne linjen i figur 3 svarer til et univers med masseløse nøytrinoer, og vi ser at denne kurven gir godt samsvar med observasjonene.



Figur 3. Styrkespekteret for tre ulike universmodeller: en med masseløse nøytrinoer (heltrukken linje), en der nøytrinoene utgjør 1 % av den totale masse-energitettheten (stiplet linje), og en der de utgjør 5 % (prikk-stiplet linje). De vertikale symbolene er styrkespekteret fra 2dFGRS. Bølgetallet k langs x-aksen, er omvendt proporsjonalt med lengdeskalaen for fluktuasjonene (1 pc = 3,26 lysår).

Dette betyr at 2dFGRS alene ikke kan påvise at nøytrinoene har masse. Den stiplede linjen er beregnet for en modell der summen av nøytrinomassene er 0,5 eV, og er også konsistent med observasjonene, så 2dFGRS-dataene ikke er følsomme for veldig små nøytrinomasser. Den nederste kurven derimot, som tilsvarer en samlet nøytrinomasse på 2,5 eV, er helt klart i uoverensstemmelse med observasjonene. Analysen avhenger også av andre parametre, for det er andre effekter, f.eks. formen på de opprinnelige massefluktuasjonene, som kan forveksles med nøytrinosignalet. Når analysen gjøres mer forsiktig, ender man allikevel opp med en øvre grense for den totale nøytrinomassen på cirka 2 eV.

Fremtidsutsikter

Hva betyr denne nye grensen? For kosmologien betyr dette at nøytrinoene utgjør en forholdsvis ubetydelig del av den mørke materien, og at vi derfor må se etter andre mulige muligheter. Antageligvis vil LHC-eksperimentet ved CERN kunne forsyne oss med nye kandidater. For nøytrinofysikk betyr resultatet at det mulige masseområdet for disse skrumper ytterligere. Det pågående *Sloan Digital Sky Survey*[6] vil måle rødforskyvningen til en million galakser, og fra dette datasettet vil man kunne forbedre den kosmologiske grensen på nøytrinomassene ytterligere. Hvis minst én av nøytrinomassene er større en 0,1 eV, er det faktisk en mulighet for at SDSS faktisk kan måle den. Men er alle nøytrinoene betydelig lettere enn dette, må man overlate massebestemmelsen til laboratorieeksperimenter.

Nøytrinofysikken er inne i en spennende fase, og forhåpentligvis vil vi innen få år vite hva massene er, og dermed vite mer om hvordan de passer inn i partikkelfysikkens store puslespill.

Referanser

1. Per Osland og Geir Vigdel: *Har nøytrinoene likevel masse?* Fra Fysikkens Verden, **60**, Nr. 4, 99–103 (1998)
2. Lars Bugge: *Elektrosvak fysikk ved LEP – Del I.* Fra Fysikkens Verden, **58**, Nr. 2, 43–51 (1996)
3. Øyvind Grøn: *Er universet i en tilstand av akselerert ekspansjon?* Fra Fysikkens Verden, **61**, Nr. 3, 73–80 (1999)
4. Mer informasjon om 2dFGRS finnes på *http://www.mso.anu.edu.au/2dFGRS/*
5. Se *http://xxx.lanl.gov/astro-ph/0204152*
6. Se *http://www.sdss.org/*

∞

Konferanse

Plasma- og gassutladnings-symposiet 2002

Det 36. Nordiske Plasma- og Gassutladningssymposiet ble avholdt 23–26. februar på hurtigruta "M/S Polarlys" på strekningen Tromsø–Bergen.

Det var et meget spennende arrangement å være arrangør for. Siden det var to år siden sist, kunne en spørre seg om interessen fortsatt var stor nok til å avholde møtet, og hvordan ville det blir mottatt at det ble arrangert på hurtigruta? Tradisjonelt har dette møtet vært avholdt på et høyfjellshotell sørpå slik at folk kunne gå på ski. Denne gangen var det knapt nok muligheter å stå på vannski, og sjøsyketabletter var den eneste trøsten vi kunne tilby magesvake sjeler over alle de fire gode grunnene til ikke å bli med: Vestfjorden, Folla, Stad og Hustadvika.

Heldigvis var interessen stor nok, og ettersom symposiet ble avholdt på hurtigruta med utgangspunkt Tromsø og sluttpunkt Bergen, var det også mulig å få symposiemidler fra Universitetet i Tromsø. Penger fra arrangementet for to år siden, studentstipend fra Norsk Fysisk Selskap og reisebidrag til sekretær og en foredragsholder fra Institutt for fysikk bidro til å dra symposiet vel i havn. Takk til alle som hjalp til med økonomien!

Vi samlet 23 deltagere (figur 1) og en ganske stor flokk ledsagere. For dem som var med på omvisningen på plasmalaben på Nordlysobservatoriet og dro til byen etterpå, hadde vi bestilt et lite nordlysutbrudd som innledning til middagen. Det fikk opp stemningen, og kl. 24.00 på fredag kveld, gikk vi ved godt mot ombord i "Polarlys".

Etter en rolig lørdag med registrering etc., innledet prof. Carbone programmet. Han diskuterte statistiske fordelinger av 'sol-flare'-parametre og turbulens i magnetisk innesperrede plasma i lys av ulike SOC- (self organized criticality) modeller og MHD-skallmodell, og konkluderte med at MHD-skallmodellen gir en bedre beskrivelse av statistikken i realistisk 3D-turbulens. Han diskuterte også 'intermittens' i ulike plasmaparametre og viste at skaleringen av sannsynlighetsfordelinger av disse kan reproduseres av mulifraktale modeller.

Dr. Pascal Devynck diskuterte struktur og kontroll av plasmaturbulensen i SOL (scrape-off layer) i tokamaker, og beskrev et prosjekt for å kontrollere turbulent transport v.hj.a. feedbackmekanismer.

Prof. Frank Melandsø ga eksempler på estimering av noen sentrale partikkelparametre for støvplasmaeksperimenter i mikrogravitasjon foretatt v.hj.a. trackingmetoder innen bildebehandling.

Prof. Ruth Esser gjennomgikk nyere observasjoner og modellering av akselerasjonsprosessene i solvinden med vekt på den hurtige solvinden som kommer fra polare koronahull; og førsteaman. Unni Pia Løvhaug rapporterte om en ny observasjons- og analysemetode for deteksjon av O^+ og H^+ med EISCAT. Hun kunne vise til klare forskjeller mellom drifthastighetene til de to ioneslagene.[1]

Professor Göran Marklund presenterte resultater fra Cluster-satellittene som flyr på rad og rekke i ca. 22 000 km høyde, men er separerte i tid med ca. 100 s.[2] Resultatene viser hvordan et elektrisk felt rettet nedover langs magnetfeltlinjene, og som akselererer elektroner ut fra jordatmosfæren, utvikles med tiden og kan påvirke nordlyset.

Blant de øvrige bidragene rapporterte Åsnes om resultater fra Pixie-instrumentet i Polar-satellitten som gir høyoppløselige røntgenbilder fra geomagnetiske substormer med muligheter for å spore de regionene i magnetosfæren som gir opphav til pulsasjoner i ekspansjonsfasen av en substorm.

Aksnes benyttet Polar-satellittdata av UV-emisjoner (UVI) og røntgenstråling (PIXIE) til å beregne den globale tidsutviklingen av de ionosfæriske konduktivitetene under en substorm. Ved å kombinere data fra UVI (info om elektroner < 30 keV) og målinger fra PIXIE (info om elektroner ~ 5–100 keV) kan man inkludere alle elektronenergier som har betydning for å dedusere konduktivitetene. De fleste statistiske konduktivitetsmodeller mangler informasjon om formen på elektronspekteret over ca. 30 keV, noe som fører til en underestimering av Hall-konduktiviteten.

Bevis for at plasmainstabiliteter opptrer i forbindelse med partikkelnedbør og nordlys, ble presentert av La Hoz. En måling med EISCAT-radaren viser en forsterkning av ioneakustiske bølger og Langmuir-plasmabølger samtidig med nordlys.

Guerra diskuterte modellering av et 'surface wave' mikrobølgeplasma for en kombinasjon av argon og nitrogen som ga god overensstemmelse med eksperimenter og viste at N_2^+ er det dominerende ionet for opptil 70 % argoninnblanding. Modellen viste også at ladningsbyttekollisjoner mellom Ar^+ og N_2 spiller en viktig rolle i slike plasma.

Lyachev presenterte systematiske målinger av plasmapotensiale med emisjonsprober i et magneti-

sert plasma, og viste at avviket fra målinger med kald probe avhenger både av analysemetode, emisjonsstrøm og magnetfelt.

Det øvrige programmet og noen av foredragene er lagt ut på møtets web-side.[3]

Figur 1. Møtedeltagerne samlet på panoramadekket. Stående, fra venstre: A. Kildal, M. Shafiq, A. Åsnes, O. Havnes, V. Guerra, F. Melandsø, P. Devynck, M. Iqbal, U. P. Løvhaug, V. Carbone, A. Lyachev, L. N. Nji, N. Brenning, G. Marklund, A. Aksnes, K. Olafsson. Sittende, f.v.: C. Riccardi, F. Profumo, Å. Fredriksen, C. LaHoz, R. Esser, A. Aanesland og L. Larssen. (S. Skullerud hadde forlatt skipet da bildet ble tatt.)

Arrangementskomiteen (Åshild Fredriksen, Cæsar LaHoz og Ove Havnes) ønsker å takke alle foredragsholderne for at de bidro til et interessant møte. Takk også til alle deltakerne og ledsagerne som tok sjansen på et møte på hurtigruta – ikke minst til dem som ble sjøsyke og likevel "sto han av". Til slutt en stor takk til personalet på "M/S Polarlys" for enestående service. Vi håper at vi ses igjen på et nytt norsk/nordisk møte om to år med plasmafysikk på programmet.

Referanser

1. Løvhaug, U.-P., T. Hagfors, and A.P. van-Eyken: Radio Science **36**, 1509 (2001)
2. G.T. Marklund et al.: Nature, **414**, 724 (2001)
3. *http://www.phys.uit.no/~ashild/Plasmasymp02web/*

Åshild Fredriksen

∞

Rom Stoff for en ny Tid

Klassikeren *Rom Stoff Tid 2FY* er fornyet og forynget gjennom nytt format og støtte fra et innholdsrikt nettsted.
Det nye formatet:
- bedre plass til figurer og bilder
- innbydende, ryddig og oversiktlig form

Rom Stoff Tid 2FY er like grundig og faglig solid som før, men er forbedret på viktige punkter:

- Eksperimentenes sentrale plass i faget understrekes
  Hvert kapittel starter med en aktivitet til bruk ute eller inne
- Aktivitetsoppgaver som ikke krever laboratorieutstyr, og som elevene gjerne kan gjøre hjemme
- "Sokrates"-spørsmål til ettertanke, undring og diskusjon
- Nettsider med fokus på visualiseringer og animasjoner og med egen lærerside
- En mer innholdsrik studiebok

Jeg underviser i fysikk i videregående skole og ønsker mer informasjon om den nye utgaven av *Rom stoff tid 2FY.*

Navn: _____

e-postadresse: _____

Skole: _____

Send kuponger per brev eller faks til:

Cappelen undervisning
videregående skole
Postboks 350 Sentrum, 0101 Oslo
Faks: 22 36 50 46
www.cappelen.no

CAPPELEN

Cappelen skaper dialogen

Bokkronikk

Lucy Jago: The Northern Lights – How One Man Sacrified Love, Happiness and Sanity to Unlock the Secrets of Space. Hamish Hamilton, London, 2001, ISBN O-241-14092-7 (308 sider).

Sant og usant om Kr. Birkeland

Ein engelsk TV-journalist, Lucy Jago, har skrive ein biografisk roman om vår store eksperimentalfysikar, Kristian Birkeland (1867–1917). Kan ein journalist utan fysikkbakgrunn makte dette?

Det byrja med at Jago reiste rundt i Birkelands "fotspor" for å samle stoff til eit TV-program om han i BBC. Slik vart ho "kjend" med Birkeland. Ho seier i forordet til boka: *The extraordinary events in this story actually ocurred and the characters involved existed ... Exhaustive research has been done into all availabe archives and resources concerning Birkeland ... Most details that appear in the book ... have come from written sources ...* Når Jago så presenterer ei referanseliste på sju sider og ei takkeliste på over tre, skapar ho store forventingar.

Boka opnar med ei detaljert skildring av ein sledetur med rein i storm og bitande kulde i finnmarksfjella, datert 14. oktober 1899. Birkeland med fylgje er på veg frå Kåfjord i Alta til ein av dei høgste fjelltoppane i nærleiken, Sukkertoppen på Haldde. Der hadde Birkeland fått bygt ei solid observasjonshytte, og no ville han overvintre der saman med assistentar for å studere nordlys, ver og vind, og anna som han trudde kunne ha med nordlyset å gjere. Ein lokal postmann, Clemet Hætta, leia raiden. Etter han kom Birkeland med assistentane Bjørn Helland-Hansen, Elisar Boye, Sem Sæland og Kristoffer Knudsen. Etter mange timars slit måtte dei grave seg ned, og der vart dei liggjande verfaste i 20 timar. Helland-Hansen fekk alvorlege frostskadar på hendene. Likevel drog dei vidare då veret letna, fortel Jago, og nådde toppen. Då klarna det opp; nordlyset kom – og nakkehåra deira reiste seg!

Men nordlys er ikkje hårreisande sjølv om Birkeland på den tida trudde at det kunne ha samanheng med atmosfærisk elektrisitet. Det som derimot kan vere "hårreisande" er å sjå korleis Jago her diktar om ei historie som Birkeland sjølv har fortalt, etter at ho har forsikra oss om at det ho fortel om verkeleg har hendt slik.

Birkeland skriv i boka si frå 1908 at det var i februar 1897 at han og fylgjet hans nær hadde misst livet i ein snøstorm. Dei var langt inne på Beskades, mellom Bossekop og Kautokeino, på ein rekognoseringstur. Birkeland ville gjere seg kjend i desse traktene med tanke på ein større ekspedisjon seinare, og han ville prøve å finne ut om nordlyset verkeleg kom heilt ned på fjella der, slik folk meinte å ha sett. Han var saman med *to* studentar, B. Helland-Hansen og K. Lows som ikkje var med til Haldde, og postmannen Hætta. – Dei drog tilbake straks veret letna slik at Helland-Hansen *fekk* legehjelp, men han misste likevel fleire fingerledd.

Når ein ser korleis Jago her diktar om det Birkeland sjølv har fortalt (namn er også skrivne feil), må ein bli skeptisk til boka som historisk kjelde. Og det skal vise seg at mykje av det Jago skriv er feilaktig. Noko av dette skuldast openberr mangel på orden i notatane hennar. Men verre er det at manglande kunnskap i fysikk og fysikkhistorie gjer det vanskeleg for henne å skilje mellom sanning og myter om Birkeland. Dessutan let Jago ofte fantasien spele litt for fritt til at det ho fortel vert truverdig.

Det er sjølvsagt uråd her å vurdere alt Jago skriv, og ikkje har eg kunnskap til det heller; men eg meiner det er viktig å peike på at mangt av det ho skriv om Birkeland som fysikar og forskar ikkje held mål, og bør difor ikkje bli ståande uimotsagt.

Boka er delt i tre etter Birkeland sine største forskingsfelt: *Aurora Borealis, The Terrella* og *Zodiacal Light.* Desse delane er vidare delte i kapitler med tid- og stadfesting. Til slutt fylgjer ein *Epilogue*, der Birkeland sine idear og innsats vert sett i relasjon til seinare forsking og kunnskap; *Acknowledgements, Select Bibliography* og *Index.* Men det er diverre ikkje referert til kjeldene i teksten. – Denne omtalen fylgjer ikkje inndelinga i boka.

Nordlysforsking på Haldde

Birkeland hadde fått bygt to solide observatoriehytter på Haldde, på Sukkertoppen og Talviktoppen, som låg 3,4 km frå kvarandre i nord-sør retning. Han ville prøve å finne ut kor høgt oppe nordlyset var ved siktemålingar frå desse hyttene. Dette var eit viktig spørsmål å få svar på i dei dagar då ingen hadde gjort slike målingar. Birkeland hadde ikkje *studert* nordlys før; men han hadde sett det av og til frå Oslo, og hadde lagt merke til at nordlysstrålane kunne minne om katodestrålar (elektronstrålar) i magnetfelt som han hadde studert.

Ein dansk meteorolog, Adam Paulsen, som

hadde vore på Grønland, meinte at nordlyset kunne vere katodestrålar som kom til syne høgt oppe i lufta (1893). Men han kunne ikkje gje ei rimeleg forklaring på kvarhelst desse strålane kom ifrå og korleis dei kunne ha samanheng med solflekkaktiviteten.

Birkeland visste at katodestrålar kunne gå gjennom "tomt rom", og at dei vart påverka av magnetfelt. Slik kom han til at nordlysstrålar, dersom dei verkeleg *var* katodestrålar slik Paulsen meinte, måtte kunne skrive seg direkte frå sola og bli "sogne" inn i atmosfæren av magnetfeltet omkring jorda. Desse ideane publiserte han i 1896 på slutten av ein større artikkel om katodestrålar i magnetfelt.

Tanken om at sola kanskje sender ut elektriske "strålar" i tillegg til lys og varme, var ikkje ny. Men Birkeland ville no prøve å finne ut om det verkeleg kunne vere slik nordlyset vart til. Dermed sette han i gang med dei berømte "terrella-eksperimenta" sine, der han studerte korleis katodestrålar oppførte seg ved ei massingkule med ein elektromagnet inni som skulle vere som ei lita jord (terrella) i verdsrommet. (Men han kunne sjølvsagt ikkje magnetisere sjølve kula, slik Jago skriv.) Birkeland meinte at desse eksperimenta viste at nordlyset truleg vart til på ein liknande måte, men detaljane i nordlyset kunne han ikkje studere med slike eksperiment.

No ville Birkeland studere *verkeleg nordlys* og prøve å finne ut om det kom heilt ned på fjelltoppane på Haldde. *Nu er det nemlig ikke længer helt tilfredsstillende for Videnskabsmanden blot at være 'under Nordlysets Stråler'; først ved at komme lige ind i dem vil hans Længsel slaa sig tilro – for en Stund,* skriv Sem Sæland i eit brev til Morgenbladet (1900). Sæland var amanuensis ved Fysisk institutt og assistent for Birkeland på Haldde.

Sæland har også fortalt om korleis dei prøvde å triangulere nordlyshøgder med enkle siktemidlar, men avstanden mellom hyttene var altfor liten til at dei kunne lykkast med dette. Birkeland hadde nok ikkje venta at nordlyset skulle vere så høgt oppe som vi no veit at det er, ca. 100 km over bakken, og dei ville i beste fall kunne få ein vinkel på 2° mellom sikteretningane. – Dei hadde *ikkje* to kamera til slike trianguleringar, som Jago (og fleire) har skrive. Sæland fortel at dei berre hadde *eitt* som han prøvde å fotografere sterke nordlys med, utan hell.

Jago seier at Birkeland likevel "intuitivt" kom til at nordlyset var omlag 100 km over bakken; og lenger ute i boka skriv ho at han "fastslo" dette ved denne ekspedisjonen. – Men Birkeland sjølv skriv i boka si frå 1913: *We know ... that in the polar regions aurora very frequently descends to within 50 kilometres of the earth, indeed there are good observations of its descending to within 10 kilometres and considerably lower.* Dette skreiv han omlag samtidig med at Störmer, Krogness og Vegard kunne fastslå at nordlyset aldri kom lågare enn til 80–90 km høgde.

Jago fortel detaljert om "nordlysobservatoria" på Haldde, korleis dei var bygde og utstyrte med inventar og instrument, og om korleis Birkeland og assistentane hans levde der. Vi får jamvel vite at dei hadde med seg eit termometer som kunne måle temperaturar heilt ned til −117 °C! Men hyttene var svært solide med 30 cm tjukke murveggar, skriv Jago, og blandar tommar og centimeter. Ho fortel at Sæland budde åleine på Talviktoppen, medan Birkeland budde saman med Boye og Knudsen på Sukkertoppen. – Men Sæland seier at Knudsen budde saman med han, og Birkeland fortel at han også hadde med seg ein kokk!

Jago fortel vidare at Birkeland ofte gjekk og pusla med magnetometra sine i søvnlause netter. Han likte å sjå korleis magnetfeltet varierte. Då tømde han lommene sine for pennar, småpengar og nøklar som kunne påverke magnetometra; og han hadde jamvel kjøpt seg briller med gullinnfatningar med tanke på dette. Fint fortalt, men fri fantasi. At Birkeland neppe hadde lommene fulle av slikt "rusk" på Haldde, og at gull er lite brukbart til briller, det er så. Men han hadde heller ingen magnetometer å pusle med, ifylgje Sæland. Dei hadde *han* ansvaret for på Talviktoppen; og desse instrumenta måtte stå i eit mørkt rom der ingen kunne gå og "pusle". Det ville øydeleggje registreringane som vart skrivne på fotografisk papir av ein liten lysflekk – og var usynlege til dei vart framkalla. Dei hadde altså *ikkje* lik instrumentering i dei to hyttene, slik Jago skriv. Birkeland og Boye gjorde berre meteorologiske og luftelektriske målingar.

Jago brukar store ord om instrumenteringa på Haldde og skriv: *Here, on the top of a mountain in northern Norway, the fruits of centuries of scientific research and experimentation were being harnessed to study the Lights.* Og ei skildring av ein nordlyskveld der oppe vert avslutta slik: *The tiny building stood proud on the summit of Europe as the Earth turned its diurnal cource around the sun.*(!)

Forfattaren legg også inn ein del fysikkhistorie og fortel m.a. om korleis samanhengen mellom nordlys og variasjonar i magnetfeltet vart oppdaga. – Men slike variasjonar er ikkje synlege på skipskompass slik at dei kan skape problem for navigatørar.

Då mørketida kom vart det vanskeleg å vite når den eine dagen slutta og den neste tok til, kan vi lese, og då kunne dei studere nordlyset døgnet rundt. Men så mørkt vert det nok ikkje i Finnmark.

I julehelga var Birkeland med fylgje inviterte til sjefen for kopargruvene i Kåfjord. Der hadde dei eige kraftverk med det høgste brukbare vassfallet i Europa – 370 m, ifylgje Jago, og dette fanga sjølvsagt interessa til Birkeland. Ho fortel også at salmesongen i den vesle kyrkja i Kåfjord var så sterk at han ljoma mellom fjella og kunne høyrast mange kilometer utover langs den islagde fjorden!

Etter nyår fekk dei storstorm på Haldde. Då bles det slik at *Despite the sturdiness of the building ... It was like being in a tiny fishing boat facing towaring waves.* – Men trass i denne sterke "sjøgangen" konstaterte Birkeland at magnetometeret hadde teikna ein rett strek på papiret! Han fann ingen samanheng mellom veret og det han seinare kalla "magnetiske stormar". Men han kom til at det var ein klar samanheng mellom slike "stormar" og nordlys, og dette ville han studere nærare med fleire stasjonar i nordlyssona. Utruleg nok fekk han realisert desse planane, også.

Då dei var i ferd med å avslutte arbeidet, omkom Elisar Boye og kaptein Lange frå Alta i eit snøskred. Dette vart ein trist slutt på ekspedisjonen, og Birkeland tok aldri opp att nordlysstudier frå Haldde. Men 10 år seinare fekk han bygt eit meir permanent observatorium på Sukkertoppen, der også familiefolk kunne bu. Dette vart teke i bruk i 1912 med Ole Krogness som styrar.

Laboratoriestudium i Oslo

Jago fortel at Birkeland reiste med dampskip langs Noregs "austkyst" tilbake til Kristiania der han hadde budd saman med foreldra sine. No var faren død, og Kristian flytte til Lysaker, der fleire intellektuelle og politisk radikale budde. Jago skildrar livet til Birkeland der fint og med stor sans for detaljer, men kanskje ikkje heilt korrekt. Vi får m.a. vite at han var omgangsvenn med den radikale og originale geologen Amund Helland som snakka *Old Norse* og publiserte sine sosialistiske meiningar i *Morgenbladet, the most leftleaning paper of the time.*(?)

Ein familievenn, meteorologen professor Henrik Mohn, tok seg serleg godt av Birkeland og inviterte han ofte heim. Der møtte Birkeland Ida Hammer, søsterdotter til Mohn, som han gifte seg med. Ho vert skildra som ei intelligent og sympatisk kvinne, og både hårfasong og klesdrakt vert nøye beskrivne. Men ekteskapet varde ikkje lenge, sidan Birkeland arbeidde både dag og natt.

Birkeland fekk publisert resultata frå Haldde som Hefte nr. 1 i Videnskabsselskabets Skrifter, M.-N. Klasse, 1901, skrive på fransk (Jago kallar dette ei bok utgjeven på Jacob Dybwads forlag). Der peika Birkeland på den nære samanhengen mellom magnetiske perturbasjoner og nordlys. Men han vart skuffa over at denne avhandlinga vekte lita interesse mellom engelske fysikarar, fortel Jago.

Birkeland var no sterkt interessert i vasskraftverk og eksperimenterte med brytarar for store straumstyrkar. Då kunne han bli kasta veggimellom av elektriske utladningar i brytarane, kan vi lese. Likevel likte han dette arbeidet som la grunnlaget for "Birkelands Skydevaapen", ein elektrisk "kanon".

Jago fortel at Birkeland demonstrerte "X-rays" i laboratoriet sitt i januar 1896, berre dagar etter at Röntgen hadde annonsert oppdaginga si, og folk stod i kø utanfor for å få sjå beina i hendene sine. *Birkeland claimed then to have been experimenting with X-rays before Röntgen's announcement ...* skriv Jago. – Men dette kan heller ikkje vere rett.

Wilhelm Röntgen oppdaga "X-rays" 8. nov. 1895, og annonserte oppdaginga 28. des. (sjå FFV 4/95). Birkeland kommenterte avisoppslaga om dette 20. jan. 1896 i Elektroteknisk Tidsskrift (ET), og var då svært skeptisk. Men etter å ha lese originalrapporten, kom han med ein meir seriøs omtale i ET 5. februar. Han seier ingen ting om at han sjølv hadde sett noko liknande – og Birkeland var ingen beskjeden mann. Det var først *no* Birkeland sette i gang med liknande forsøk, ifølgje Sæland (1918); og 27. februar kunne han halde *"et af experimenter ledsaget foredrag over kathodestraaler og X-straaler"* i Polyteknisk forening (ET, 3. mars 1896). – Dette er også imponerande, men ikkje i samsvar med Jago.

Magnetfeltmålingar i Arktis

Vinteren 1902–03 hadde Birkeland 4 stasjonar i drift for måling av magnetfeltvariasjonar i nordlyssona: Dyrafjord på Island, Kåfjord i Finnmark, Axeløen på Spitsbergen og Matotschin Schar på Novaja Zemlja (boka har kart som viser desse stasjonane). Birkeland ville kartleggje utviklinga av magnetiske stormar på denne måten. Men vi kan vanskeleg tru at han venta at desse målingane *would allow the polar skies and near space to be mapped*, slik Jago skriv, for nordlyset kunne berre observerast visuelt. Heller ikkje kan vi tru at han meinte *It would be*

possible to plot the movement of magnetic storms over the Polar Circle, ... discover the conditions necessary for auroras to appear ... – Vi vil tru at Birkeland var meir realistisk. Men han samla ny kunnskap om magnetiske stormar med dette prosjektet der data frå fleire andre stasjonar også vart samordna. Resultata vart publiserte i den store boka til Birkeland, "The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902–1903", som kom ut i 1908/1913.

Birkeland og Eyde

Birkeland sjølv var berre med på ein del av denne ekspedisjonen, i Kåfjord. Det var eksperiment med den elektriske kanonen som no opptok han mest. Han rekna med å kunne tene mykje pengar på denne om han vart vellykka. Men den store demonstrasjonen i festsalen på Universitetet, enda med kortslutning og panikk. – Dette hende 6. februar 1903, ikkje 6. mars, som Jago skriv.

Mange har vel høyrt denne historia før, og at dette førte til samarbeid mellom Birkeland og Sam Eyde om produksjon av salpeter frå luft. Jago skildrar dette samarbeidet som svært problemfylt for Birkeland og understrekar at han vart direkte utnytta av forretningsmannen Eyde, noko som førte til nervesamanbrot for Birkeland og ein helseknekk som varde livet ut. Han hadde alltid vore plaga av søvnløyse, og verre vart det no, slik at han vart meir og meir avhengig av sovetablettar og alkohol.

Etter tre år med hardt arbeid fekk Birkeland og Eyde i gang ein akseptabel salpeterproduksjon, og Norsk Hydro vart skipa 5. desember 1905.

Den svenske bankmannen Wallenberg foreslo då at Birkeland og Eyde måtte få nobelprisen i kjemi for metoden dei hadde utvikla for salpeterproduksjon. Men nobelkomiteen ville berre nominere Birkeland sidan Eyde ikkje var forskar. Dette ville Eyde ikkje finne seg i, og hans motstand førte til at ingen av dei fekk prisen. Birkeland visste ikkje om dette, vert det sagt, og kunne gle seg over eit godt økonomisk utbytte av innsatsen sin for å utvikle den elektriske salpeteromnen. Med slike pengar i lomma kunne han no engasjere mange assistentar til å analysere magnetometerdataene sine, og han kunne setje i gang med nye og meir avanserte terrellaeksperiment.

Zodiakallyset

I dei nye terrellaeksperimenta kunne Birkeland variere parametrane meir fritt og få fram mange ulike lysningar i vakuumkammeret. Desse kunne minne både om nordlys, zodiakallys, Saturns ringar og spiralgalaksar. Slik kom Birkeland til å tru at det kunne vere same slags elektriske "strålar" som var årsak til alle desse fenomena, og han meinte at han no kunne vere på sporet av ein ny altomfattande kosmologisk teori. Dette ville han prøve å finne ut av; og straks han var ferdig med den store boka si i 1913, reiste Birkeland til Egypt med to assistentar, Karl Devik og Thoralf Skolem, for å studere zodiakallyset. Dermed vart det slutt med nordlysstudia hans.

Zodiakallyset er sollys som er spreidt frå kosmisk støv i ekliptikkplanet (zodiaken), og er best synleg nær ekvator. Der kan ein sjå det som ei diffus lyskjegle på himmelen før soloppgang og etter solnedgang. Dette var eit kjent fenomen, men årsaken var enno uklar. Birkeland ville prøve å finne ut om det var tidsvariasjonar i zodiakallyset som samsvarte med slike variasjonar i magnetfeltet som ein kunne registrere i nordlyssona. No veit vi at slike variasjonar ikkje kan registrerast så langt sør.

Birkeland sjølv hadde ikkje utstyr som kunne registrere zodiakallyset, men i Helwan, sør for Kairo, var det eit astronomisk observatorium med fleire teleskop som han fekk bruke. Desse vart i tur og orden utstyrte med ei fotocelle som detektor, ein ny teknikk på den tida. Slik meinte Birkeland å kunne registrere små variasjonar i zodiakallyset, men det var vanskeleg å vite om desse var reelle i den varme lufta. Han meinte også å kunne sjå svake variasjonar i magnetfeltet når zodiakallyset var synleg, men kunne ikkje påvise samsvar mellom desse variasjonane. Jago fortel om desse eksperimenta utan å gå så mykje inn på det reint fysiske; men sist i boka skriv ho at *Birkeland's development of photocell equipment came to revolutionise astronomy ...* – Her tar ho vel også munnen for full?

Jago skriv detaljert om reiser og opphald i Egypt og Sudan, og vi får også vite at Birkeland der innleidde eit nært vennskap med ei gresk pianistinne. Men dei nattlege observasjonane og varmen i Egypt, gjorde det svært vanskeleg for Birkeland å få sove, og det vart meir whisky og veronal.

Då verdskrigen braut ut i 1914, drog Skolem heim, og kjærasten til Birkeland reiste også. Devik var mykje i Rhodesia (Zimbawe) for å studere zodiakallyset derifrå før han vart heimkalla til militærteneste i 1916. Dermed vart Birkeland att åleine. Dette vart ei så stor påkjenning at han utvikla paranoia og vart mistenksam mot alle omkring seg. Han

sa opp dei fleste av tenarane sine og kjøpte seg både vakthundar og skytevåpen.

Mot slutten av året 1916 vart Birkeland så sjuk at han ikkje lenger kunne bo åleine. Men den danske konsulen i Kairo tok seg av han og skaffa legehjelp slik at han kom seg såpass at han ville reise heim att til Noreg våren 1917. Krigen rasa endå i Europa; men den danske konsulen fylgde Birkeland til Tokyo, og derifrå var det meininga at han skulle ta toget vidare gjennom Sibir. I Tokyo forandra Birkeland meining og ville vere der ei tid for å arbeide saman med ein professor som dreiv med magnetfeltmålingar. Men han hadde enno store problem med helsa, og 16. juni 1917 fann dei Birkeland død i senga med sovemedisin og ein pistol på nattbordet, fortel Jago. Ho gjengir også brevet som vart sendt til Universitetet i Kristiania om dette – men der står det at Birkeland døydde 15. juni!

Birkeland vart kremert i Tokyo, men urna vart send heim og 'sett ned' på Vestre gravlund i Oslo.

Epilog

I epilogen prøver Jago å setje Birkeland sine idear i relasjon til vår tids romforsking og kunnskap om nordlys. Men etter mi meining vil ho her tilkjenne Birkeland større kunnskap enn det er rimeleg grunn til å tru at han kunne ha. Likevel seier ho at Birkelands vitskapelege omdøme berre gjekk nedover dei neste 50 åra, og ho let ein yngre engelsk nordlysforskar, Sydney Chapman, få mykje av skulda for dette sidan han hevda at Birkeland sin nordlysteori ikkje kunne vere rett.

Men Chapman var ikkje den einaste som tvilte på dette. Alt i 1911 hadde ein annan kjend engelsk fysikar, Arthur Schuster, gitt uttrykk for at slike tynne strålebuntar som Birkeland meinte kom frå sola, ville gå i oppløysing på grunn av elektrisk fråstøyting før dei nådde jorda. Birkeland svarte då i ein sarkastisk tone at desse "helio-katode strålane" var eit eksperimentelt faktum, så den gode naturfilosofen måtte nok ta feil. Slike strålebuntar ville kunne halde saman berre energien var stor nok, sa Birkeland, og han meinte farten deira låg nær oppunder lysfarten.

Lars Vegard, Birkelands eigen "elev", kom samstundes etter omfattande laboratoriestudier, til at også "strålar" med positiv ladning kunne vere årsak til nordlys, og han påpeika seinare at sola måtte sende ut like stor fluks av positive som av negative partiklar. Carl Störmer, som hadde rekna på mogelege baner for elektriske partiklar frå sola til jorda, kom også til at både negative og positive "korpuskelstrålar" truleg var årsak til nordlys (1915).

Jago skriv: *Birkeland, however, knew that corpuscles of both charges escaped from the sun but deduced, accurately, that mainly negatively charged electrons caused magnetic storms and auroras.* Men Birkeland sjølv meinte at *berre* negative "korpuskelstrålar" kunne vere årsak til nordlys.

Då Birkeland (i Egypt) fekk vite at Störmer også meinte at positive "korpuskel-strålar" kunne vere årsak til norlys, skreiv han eit krasst "motinnlegg" i Videnskapsselskapets Skrifter (1916), med tittel: *Are the solar corpuscle rays that penetrate into the earths atmosphere negative or positive rays?* Her seier han: *I think the reasoning by which Prof. Störmer arrives at this result, is certainly incorrect ... But in cosmic space positive rays from the sun most probably – even certainly – exist, only they do not seem to arrive near enough to the earth for their excistance to be ascertained in our atmosphere.* – Dette var det siste Birkeland skreiv om nordlys.

I 1939 fann Vegard hydrogenemisjonar i nordlysspektre – det første sikre teiknet på at positive partiklar (protonar) verkeleg er med på å skape nordlys.

Jago prøver å illustrere Chapman si negative haldning til Birkeland ved å sitere frå eit foredrag han heldt i 1967. Der seier Chapman: *Though Birkeland was certainly intensely interested in the aurora, [and devoted great effort to organization and support and expeditions to increase our knowledge of it,] it must be confessed that his direct observational contributions to auroral knowledge were slight. [His indirect influence, however, was great, through the interest he awakened in the subject among his younger colleagues or assistants, Störmer, Krogness and Vegard.]* – Men det som her står mellom *[* og *]* tek Jago ikkje med, og ho markerer ikkje at noko er utelate. Det fylgjande avsnittet er også tukla med.

Det *heile* utsagnet vert ein langt meir positiv omtale av Birkeland enn Jago vil ha det til å vere. Likevel vil mange kunne meine at Chapman her ikkje gav god nok "kredit" til Birkeland som nordlysforskar. Men vi må hugse på at Birkeland ikkje hadde noko instrument som kunne registrere nordlyset. Han og assistentane hans kunne berre observere det visuelt. Det var berre magnetfeltvariasjonane i samband med nordlyset dei kunne "registrere". Dessutan hadde Birkeland mange andre interesser som tok mykje av tida hans. Men likevel inspirerte han Störmer, Vegard og Krogness til å gå inn for nordlysforsking; og dei skaffa seg instrument til dette så snart det vart mogeleg.

Jago meiner at Birkeland sine idear ikkje vart tekne nok omsyn til i den vidare nordlysforskinga, og seier: ... *rejection of his theories probably slowed the advance of geomagnetic and auroral physics for nearly half a century.*

Eit slikt utsagn er vanskeleg å ta alvorleg, for det var nettopp i denne tida at nordlysforskinga verkeleg skaut fart med Birkelands eigne "elevar" som leidande. Men dei enkle "teoriane" som Birkeland hadde om nordlys og andre kosmiske fenomen, måtte etter kvart "justerast" i samsvar med nye observasjonar og oppdagingar. At desse observasjonane tvert imot *stadfesta* Birkeland sitt "verdsbilete", er ikkje lett å sjå.

Boka er velskreven og interessant lesnad om *personen* Kristian Birkeland, hans omgangskrets og samtid. Dette er fint skildra med stor innlevingsevne og sans for detaljar. Men Jago lar fantasien ofte spele litt for fritt til at alt vert truverdig. Av same grunn maktar ho heller ikkje å fortelje sannferdig om *fysikaren* Kr. Birkeland. Ord og uttrykksmåtar fortel også at Jago ikkje har nok kunnskap til det, og ho kan såleis heller ikkje alltid skilje sanning frå myter om Birkeland.

Mange vil meine at Kristian Birkeland var vår første store eksperimentalfysikar som openbart var dominerande i vårt land i si samtid. Og han var utan tvil ein pionér som la grunnlaget for eit rikt miljø for nordlysforsking her i landet. Men vi må ikkje "rive han ut av si tid" og gjere han til ein slags "halvgud" som hadde mykje av vår tids kunnskap, basert på myter og tvilsame historier. – Han burde vere stor nok utan.

Dette er såleis ikkje ei bok vi kan stole på som ein biografi om *fysikaren* Kristian Birkeland.

P.S.

Boka er no oversett til norsk av Mona Vestli og er komen ut på Gyldendal Norsk Forlag AS (2002); IBSN 82-05-30071-2 (245 sider) 349 kr.

Karl Måseide

∞

Bokomtale

Stephen Hawking: Universet i et nøtteskall. Cappelen 2001, ISBN 82-525-4325-1 (216 sider) 379 kr.

Frustrasjon, spekulasjon, intuisjon, inspirasjon og kreasjon

Vis oss ikke målet, men også vegen, for mål og middel er slynget slik sammen at endrer du det ene, blir begge endret og hver veg bringer nye mål i sikte.

Ferdinand Lasalle: *Franz von Sickingen*

Å sysle med fysikkteori er ingen enkel gjerning. Når eksperimentalistene påviser naturfenomener som virker uforståelige i forhold til etablert teori, får teoribyggerne utgyde svette og tårer. Den skapende prosessen er en tung veg der en snubler seg framover i mørke og tåke. Men så er også lykkefølelsen overveldende når intelligent gjetning faktisk avslører hvilke spilleregler som gjelder for naturen. Fysikkbygningen av teoretiske sammenhenger reiser seg mektig, harmonisk og vakker som katedraler og greske templer.

Det må være denne usikre ferden fram mot ny innsikt som Stephen Hawking ønsker å gi lekfolk kunnskap om i den nye populærvitenskapelige boka "Universet i et nøtteskall". En advarsel er påkrevet. Dette er ikke ei bok en kan lære trygg fysikk fra. Her blir vegen til mens du går. Jeg innbiller meg at det må være nyttig, nesten nødvendig, å ha fordøyd forgjengeren "Univers uten grenser". Uten slik kost tror jeg publikum kan få alvorlig magetrøbbel. Teksten er en jungel der det er lett å gå seg vill i tekniske faguttrykk og merkverdige begreper. Boka vil være til glede for folk som ønsker å *undre* seg; ikke bare tilegne seg forståelse.

Det er nemlig den aktive forskningsfronten Hawking rapporterer fra i den nye boka si. Her er det slett ikke bare gravitasjonsteorien til Einstein som blir lagt fram. Rett nok skildrer Hawking både svarte hull og det ekspanderende univers. Disse teoretiske raritetene er begge ektefødt avkom fra den generelle relativitetsteorien. Men i denne boka får vi også vite at fysikerne har konstruert såkalt supergravitasjon og supersymmetriske strenger.

I supersymmetriske teorier har hver materiell partikkel en partner som formidler krefter. Ethvert kraftfelt har også en partikkel som partner. Disse teoriene bygger på den egenskapen som betegnes

med spinn. Det klassiske bildet av dette er legemet som roterer omkring en akse slik som snurrebasser eller jordkloden. Men i kvantemekanikken opptrer denne spinnegenskapen i en abstrakt matematisk verden. I supergravitasjon lever materien i en realitet med hele 10 eller 11 dimensjoner, ikke bare lengde, bredde, høyde og tid slik vi erfarer virkeligheten. De dimensjonene vi ikke oppfatter, er nemlig krummet slik som et rør har en krum dimensjon. Men den kjenner vi ikke hvis røret er veldig tynt, for da forveksler vi det med en en-dimensjonal linje.

Når teoretikerne hevder at materien på mest grunnleggende nivå består av svingende supersymmetriske strenger, innebærer denne påstanden at elementærpartiklene ikke er punktformede. De strekker seg ut i en dimensjon og er gjerne åpne, men de kan også lukke seg som sløyfer.

Siste mote hos fysikerne er faktisk å erstatte disse strengene med membraner omtrent som hinna i såpebobler. Selvfølgelig må teoretikerne leke videre med hardbarket matematikk. Membranene erstattes av objekter med hele p dimensjoner. Tallet p kan da ligge mellom 2 og 11. Disse snodige "dyrene" får følgelig hete *p-braner.*

Det er ingen grunn til å fortvile om en synes det er vanskelig å godta at verden er så merkelig som disse teoriene forteller. Det er også helt i orden om en ikke helt oppfatter budskapet til teoretikerne. Saken er nok at forskerne selv må prøve seg fram og da finner de ofte overraskende sammenhenger. Når en leser boka til Hawking, bør en søke glede i den store mengden av vakre fargeillustrasjoner. Det er godt nok om disse bildene og diagrammene gir leseren en vag anelse og underlig følelse for hva moderne, spekulativ teori beskriver.

Hawking forteller faktisk at universet kanskje ikke har noen entydig historie. Han drøfter også om det kan være mulig å påvirke fortiden. Han spekulerer på hvordan framtiden vil arte seg, om menneskeheten består. Det er til og med mulig at vi ikke kan spå om framtiden fordi svarte hull spiser opp all informasjon. Men mest liker visst Hawking å fable om hvilke av de mest nymotens teoriene som bærer i seg kimen til å bli morgendagens fysikk.

Det kan gjerne være at disse abstrakte modellene ikke blir teorier for alt (*theories of everything* = TOE). Det sørgelige faktum er at disse hverdagsfjerne funderingene ikke har noen eksperimentell bekreftelse. Kanskje er de matematisk inkonsistente eller bare ufruktbare. Da får de status av teorier for ingen ting (*theories of nothing* = TON). Men vi avstår fra å stemme i med landets gildeste trubadur når han synger: "Ja, laugspresidenten han sa: – Fytte rakker'n at noen vil drive med slikt!"

En skal være forsiktig med å avvise fantasifostrene til geniene som boltrer seg med matematisk fysikk. Einstein fant fram til den generelle relativitetsteorien ved ren tenkning. Den teorien forteller at universet ikke kan holde seg i ro. Da astronomene fikk skikkelige observasjoner, måtte de overgi seg: Lyset fra de fjerne stjernetåker forteller at universet faktisk ekspanderer.

Boka til Hawking er et skattkammer for nysgjerrige folk som gleder seg over eventyr. Det gjelder selv om trollene sprekker i dagslyset. En må tåle å gi frosken en smask. Kan hende den skjuler en bedårende prins!

Henning Knutsen

∞

Hva skjer

Fysiker fra NTH gir store gaver

Vi leser i Physics Today (mars) og på Internett, at den norsk-amerikanske fabrikkeieren Fred Kavli har gitt 7,5 millioner dollar (65 mill. kr!) til Institute for Theoretical Physics ved University of California, Santa Barbara, og det antydes at mer vil følge. Pengene skal gå til å utvide bygningene, drive forskning og til vitenskapelige "workshops", og instituttet skal snart døpes om til The Fred Kavli Institute of Theoretical Physics. Tidligere har han gitt samme universitet to Kavli-professorater i Micro-ElectroMechanical Systems og Optoelectronics and Sensors, og han har opprettet The Kavli Foundation som skal støtte vitenskap ved ledende universiteter i hele verden.

Fred (Fridtjof) Kavli fra Romsdal er født i 1927. Han ble siv.ing. i teknisk fysikk fra NTH i 1955 med et eksperimentelt diplomarbeid om magnetiske forsterkere. Straks etter reiste han til Canada og USA der han alt i 1958 startet sitt eget firma Kavlico i Los Angeles-området for å lage målesensorer for posisjon, trykk og annet. Firmaet var lønnsomt; det vokste jevnt og fikk viktige patenter slik at det nå er en av verdens største produsenter av slike spesialkomponenter til fly, biler og industri.

Kavli var leder og eneeier av firmaet inntil år 2000 da han solgte ut, og nå bruker han pengene til å styrke vitenskap.

Forelesning i teoretisk fysikk ved NTH i 1953.

Bildet er tatt på NTH under en forelesning i teoretisk fysikk i 1953. Vi ser Kavli til venstre på andre rad. På samme benk sitter Olav Aspelund, og foran er Tor Hagfors, senere internasjonal professor i radioastronomi. På rad tre fra venstre sitter Jon Olav Berg som ble direktør for Institutt for energiteknikk på Kjeller, Helge Ekre og Kjell Solberg. Bakerst sitter Odd Elvebakk. Vi var den gang noen flere studenter i faget, i alt 16 i de to årskurs, men de andre var vel utenfor kameravinkelen i det store auditoriet, eller de satt heime og leste.

Ivar Svare

∞

Trim i FFV

FFVT 2/02

En gutt driver oppdrett av gullfisk. Han bestemmer seg for å selge de fleste fiskene sine i fire trinn:

1. Han selger halvparten av fiskene pluss en halv fisk
2. Han selger tredjeparten av de fiskene han har igjen pluss en tredjedels fisk
3. Han selger fjerdeparten av de fiskene han har igjen pluss en fjerdedels fisk
4. Han selger femteparten av de fiskene han har igjen pluss en femtedels fisk

Nå har han igjen 11 gullfisker. Ingen fisk ble delt. Brøkdeler av fisk var nødvendig for å kunne avhende hele fisk i hvert enkelt trinn. *Hvor mange fisker hadde gutten før salgene startet?*

Løsning FFVT 1/02

Oppgave

Marie og Anna er til sammen 44 år, og Marie er dobbelt så gammel, som Anna var, da Marie var halvt så gammel, som Anna vil bli, når Anna er tre ganger så gammel, som Marie var, da Marie var tre ganger så gammel som Anna.

Oppstilling

1. Marie og Anna er til sammen 44 år. Annas alder i dag, A, og Maries alder i dag, M, gir ligningen
$$M + A = 44 \qquad (1)$$
2. og Marie er dobbelt så gammel som Anna var for X år siden, gir ligningen
$$M = 2(A - X) \qquad (2)$$
3. da Marie var halvt så gammel som Anna vil bli om Y år, gir ligningen
$$M - X = (A + Y)/2 \qquad (3)$$
4. når Anna er tre ganger så gammel som Marie var for Z år siden, gir ligningen
$$A + Y = 3(M - Z) \qquad (4)$$
5. da Marie var tre ganger så gammel som Anna, også for Z år siden, gir
$$M - Z = 3(A - Z) \qquad (5)$$

Altså 5 ligninger med 5 ukjente som er enkle å løse. Vi får: *Marie er 27,5 år og Anna er 16,5 år.*

∞

Trimredaktøren takker av

Denne spalten i FFV har gått siden den nåværende redaksjonen tok over bladet i 1987. Mange er de som har gledet seg over denne form for hjernetrim. Vi har også opplevd at trimoppgaver har vært katalysator for en til dels omfattende diskusjon i bladet.

Det har vært en etter hvert ikke fullstendig bevart hemmelighet hvem som har vært ansvarlig for "Trim i FFV" i snart 15 år. Spaltisten har selv ønsket å være anonym, men har etter hvert avslørt seg selv. Ved sin unike dyktighet også på dette området, har eliminasjonsmetoden ført til at mange har forstått at det bare kunne være Per Christian Hemmer ved NTNU. Ingen andre kunne ha prestert et slikt langt og uavbrutt løp av høy kvalitet. For de som kjenner ham, har nok denne avsløringen vært en av de enklere oppgavene knyttet til denne spalten.

Per Christian Hemmer har også vært et høyt skattet og aktivt medlem av bladets redaksjonskomité. I tillegg til trimspalten har han stadig vært aktiv med å gi ideer til så vel stoff som til redaksjonell linje.

Når han nå trekker seg tilbake som redaktør for trimmen, vil vi benytte anledningen til å takke ham på det varmeste for hans bidrag. Men skulle han koke over med flere gode ideer, vil vi love at redaksjonen vil være ytterst lydhør.

Når dette er sagt, kan vi også trøste alle spaltens glade problemløsere med at vi har fått en ny problemprodusent slik at "Trim i FFV" vil fortsette. Ola Sveen ved Fysisk insitutt, UiO, har allerede debutert som FFVs problemredaktør. Ola er førsteamanuensis med elektronikk og medisinsk instrumentering som spesialfelt. Vi ønsker ham velkommen!

∞

God sommer!

Nye Doktorer

Audun Bakk

Siv.ing. Audun Bakk forsvarte 23. mars avhandlingen *Statistical Thermodynamics of Proteins* for graden dr.ing. ved Institutt for fysikk, NTNU.

Proteiner er store molekyler i biologiske systemer som består av fra flere hundre til mange tusen atomer. I de senere år er det kommet en stor mengde eksperimentelle data på proteiner (for eksempel varmekapasitet) som muliggjør uttesting av forskjellige fysiske modeller.

Bakk har i dette arbeidet studert teoretiske modeller for proteiner. Ved hjelp av statistisk mekanikk er termodynamikken til modellene sammenholdt med eksperimentelle data på proteiner.

Resultatet av doktorgradsarbeidet er en bedre forståelse av fysiske mekanismer på liten lengdeskala, som bidrar til stabiliteten for proteiner på stor lengdeskala. I arbeidet vises det spesielt at vekselvirkningen mellom vann og proteiner kan være kritisk for stabiliteten hos proteiner.

Bakks doktorgradsarbeid er basert på 12 vitenskapelige arbeider, alle akseptert for publikasjon i anerkjente internasjonale tidsskrifter.

Professor Alex Hansen har vært veileder. Arbeidet er finansiert av Norges forskningsråd og Institutt for fysikk, NTNU.

Audun Bakk er siv.ing. fra Institutt for fysikk, NTNU (1999) og er nå post.doc. ved Nordisk Institutt for Teoretisk Fysikk (Nordita) i København.

∞

Michaela Georgine Meir

Dipl.ing. Michaela Georgine Meir forsvarte den 21. mars i år avhandlingen *On creating thermal comfort without energy use* for graden dr.scient. ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

I doktorarbeidet drøftes muligheter for å skape komfortabel innetemperatur i bygninger ved minimal bruk av konvensjonelle energikilder. Byggets tak og vegger kan brukes til å "høste" solenergi til oppvarming eller til kjøling ved å utnytte energistrømmer som transporterer varme fra flater mot en kaldere natthimmel. Teoretiske beregninger underbygges med eksperimenter.

Effektiviteten til systemer som gjør bruk av naturlige energistrømmer blir vesentlig høyere dersom varme overføres ved relativt små temperaturdifferenser. Doktorarbeidet viser at det har større betydning å sørge for riktig dimensjonering og godt samvirke mellom systemets komponenter enn at virkningsgraden til solfanger eller kjølepanel forbedres med noen prosent.

Systemer som arbeider med små temperaturdifferanser introduserer nye utfordringer mht. temperaturstyring og måling av energiforbruk. Det presenteres nye løsninger for styring og energimåling der energien fordeles ut fra beregnet behov. Ved å levere energipakker i stedet for kontinuerlig energioverføring, kan energiforbruket bestemmes enklere og mer nøyaktig enn det som ellers er mulig i systemer der temperaturdifferansene er små.

Arbeidet har rettet seg mot muligheter for praktisk anvendelse og demonstrasjon. Veileder har vært professor John Bernhard Rekstad.

∞

Hong Qu

Cand.scient. Hong Qu fra Kina, disputerte 16. januar for dr.scient.-graden ved NTNU, med avhandlingen *Neuron/glia interaction studied by MR spectroscopy.*

Hong Qu har studert vekselvirkninger mellom celler i hjernen, såkalte astrocytter og nevroner. Spesielt er metabolismen til ulike cellesubstrat studert.

Glutamat er den hovedsakelige nevrotransmitteren i hjernen, og er viktig for hjernens funksjoner. Det er viktig å forstå hvordan glutamat omsettes og reagerer i flere typer celler under ulike betingelser. Videre er det vikig å kunne skille mellom glutamat og glukosemetabolismen i hjernen. Qu har brukt cellekulturer fra musehjerner som muliggjør gode studier av metabolisme, og har kunnet studere reaksjonene i vel definerte celler. Ved å bruke ^{13}C-merkede stoffer og MR-spektroskopi, kunne reaksjoner følges skritt for skritt. Hvordan thiopental og pentylentetrazol, begge viktige i legemiddelforskningen, påvirker glutamatomsetningen er analysert. Qu har påvist at astrocytter i hjernebarken er mer følsomme for thiopental enn astrocytter og nevroner i lillehjernen, og at pentylentetrazol påvirket mitokondrieaktiviteten. Sammenlignet med glutamat, er glukose bedre som energikilde, men mindre effektiv for syntesereaksjoner i cellene. Arbeidet har bidratt til økt kunnskap om metabolske prosesser på cellenivå i hjernen.

Doktorarbeidet er utført ved Institutt for kliniske nevrofag, NTNU, og MR-senteret, SINTEF, med professor Ursula Sonnewald og Anders Johnsson som veiledere. Norges forskningsråd og Institutt for fysikk, NTNU, har støttet arbeidet.

∞

B-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 Anne Borg
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.

Styremedlemmer:
Professor Gaute Einevoll
Inst. for tekniske fag, NLH, Ås.
Professor Eirik G. Flekkøy
Fysisk inst., Univ. Oslo.
Professor Ola Hunderi
Inst. for fysikk, NTNU.
Førsteaman. Anders Isnes
ILS, Univ. Oslo.
Professor Jøran Moen
Fysisk inst., Univ. Oslo.
Direktør Jon Samseth
Høgskolestiftelsen på Kjeller.
Professor Jan S. Vaagen
Fysisk inst., Univ. Bergen.

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
Bankgiro: 7878.06.03258

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.
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
E-post: finn.ingebretsen@fys.uio.no
E-post: 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.