Fra Fysikkens Verden

Nr. 1 – 1994
56. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Olav Steinsvoll:
Framvekst av kjernekraft 4

Thor Myklebust:
Kontroll av 1 kg riksprototypen . 11

Fra Redaktørene 2
Nobelprisen i fysikk 1993 2
Erratum: Bokkronikk 3
Konferanser 14
Spåtind-konferansen
Teoretisk fysikk møte
Indeks 1993 15
Bokkronikk 20
Bokomtaler 23
Nye Doktorer 26
Dr.scient. Jakob Gakkestad
Dr.ing. Ann Rigmor Nerheim
Trim i FFV 27
Hva skjer 28
Nytt fra NFS 28
Fysikermøtet 1994
Reisestipend til Fysikermøtet
Årsmøtet 1994
Nye medlemmer
Program for Fysikermøtet

FRA FYSIKKOLYMPIADEN 1993
Fra v.: Lokal guide, Jostein Natvig, Kjartan Thu, Martin Kirkengen, Anders Øksendal, Kårmund Myklebost (leder) og Trygve Kastberg Nilssen.
(Foto: Ingerid Hiis Helstrup)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

OL på Lillehammer er over, og alle FFVs lesere ønskes herved velkommen tilbake til virkeligheten igjen. Vi innrømmer det så gjerne, selv om vi har levd opp til vår nyervervede tilstedeværelsesplikt godt over hundre prosent, har vi tillatt oss en god del diskret titting og lytting – selv i arbeidstiden. Men vi har tilstedevært –.

Med dette har vi indirekte pekt på at vårt undervisningssytem, universiteter og høgskoler inkludert, er i støpeskjeen (igjen). Ønskene fra forvaltningen om effektivisering og forbedringer er sterke, og vi skjønner det så godt. Behovet for nye friske kandidater som er opplært på kort tid i effektive kulturer er sikkert påtrengende helt inn i departementene. Og vi skal gjøre vårt beste. Godt at OL er over – .

Ikke for det, for mange var OL på Lillehammer et mål som har inspirert til innsats og entusiasme. Her er det minst en lekse å lære, regler og bestemmelser er en ting, motivasjon er en ganske annen.

Og selv om det hele er over, kommer vi til å huske OL-logoen, den har vi sett hver morgen på melkekartongen, og på Eurosport om kvelden: Nordlyset over de olympiske ringer. Og nettopp i utforskningen av nordlyset er det vi har hatt mange av norsk fysikks "medaljevinnere". De var også på Lillehammer, behørig representert på nordlysutstillingen, initiert av den aldri hvilende initiativtaker Alv Egeland. Kanskje fikk noen promille av de 1 ++ millioner publikummere på denne måten et lite innblikk i norske fysikeres historiske innsats innen et fascinerende forskningsfelt.

Men det skal holdes et nytt OL i Norge allerede i 1996; den 17'de Fysikkolympiade. Norsk Fysisk Selskap skal stå for den faglige delen, og sikkert en god del av den praktiske også. Vi håper at langtidshukommelsen i vårt departement er tilstrekkelig til at også den finansielle delen tas hånd om.

Det blir et arrangement som må engasjere mange av oss, ikke minst de lokale deltakerne. Alle videregående skoler tilbys å være med på uttaksprøvene, og fra nå av håper vi at det blir enda større oppslutning enn tidligere. Og vi vil i tiden fremover komme med stadig nye drypp og påminnelser: Husk, i 1996 er det Fysikk-OL i Norge, og den bør vi alle forberede oss skikkelig til.

∞

Nobelprisen i fysikk 1993

Nobelprisen i fysikk for 1993 ble tildelt de amerikanske professorene Russel A. Hulse og Joseph H. Taylor ved Princeton University, for oppdagelsen av såkalte binær-pulsarer i 1974. Disse kan brukes til å studere (bekrefte) gravitasjonsteori (Einsteins generelle relativitetsteori) på en helt ny måte.

Russell A. Hulse

Joseph H. Taylor

I 1967 ble pulsarer, eller "pulserende radiobølgekilder" i Universet, oppdaget ved hjelp av radioastronomi, av Anthony Hewish og medarbeidere i Cambridge, England. Dette førte bl.a. til at Hewish fikk Nobelprisen i fysikk i 1974. Siden man raskt konkluderte med at disse pulsarene måtte være hurtig-roterende nøytronstjerner, som ifølge teorier for stjerneutvikling representerer et "utbrent" sluttstadium i en stjernes liv, satte oppdagelsen i gang en sterk vitenskapelig aktivitet både teoretisk og eksperimentelt, med nye observasjoner. Slike nøytronstjerner har rotasjonsperioder på ca. 0,002–4 s, radius lik ca. 10 km, masse lik ca. 1,5 solmasser, tettheter opptil 10^{15}g/cm^3, magnetfelt av størrelsesorden 10^{12} gauss, og enorme gravitasjonsfelt ved overflaten.

I 1974 arbeidet Taylor, som da var professor ved University of Massachusetts, sammen med Hulse (som var hans student) ved et stort radioteleskop i Arecibo på Puerto Rico. De lette systematisk etter flere pulsarer, og de oppdaget da en helt spesiell pulsar, PSR 1913+16. En analyse av de mottatte signalene viste at PSR 1913+16 måtte være en del av

en dobbeltstjerne, der begge stjernene sannsynligvis var nøytronstjerner med enorme gravitasjonsfelt, som var tett koplet til hverandre i en bevegelse omkring et felles tyngdepunkt. Denne oppdagelsen har sannsynligvis stor betydning av to grunner.

For det første, kan et slikt system brukes til å bekrefte Einsteins generelle relativitetsteori, som er én gravitasjonsteori av flere mulige. Einstein lanserte sin teori allerede i 1915, men fram til 1974 var teorien bare blitt testet ved såkalte "generell-relativistiske effekter" innenfor vårt eget solsystem, der disse er relativt sett meget svake, av relativ størrelsesorden 10^{-6}. Man ser da på effekter som lys-avbøyning i solas gravitasjonsfelt, tidsforsinkelse av elektromagnetiske bølger i solas gravitasjonsfelt, presesjon av perihel i Merkurs ellipsebane rundt sola, osv. Men effektene er så små at de ikke kan gi noe avgjørende bevis for om Einsteins generelle relativitetsteori er virkelig korrekt eller bare en førsteordens approksimasjon til en mer "eksakt" teori. Nå viser det seg at i PSR 1913+16 er slike relativistiske effekter ca. 30 000 ganger sterkere enn i solsystemet. F.eks. har vi en presesjonsbevegelse på ca. 4 grader pr. år for pulsarbanen til PSR 1913+16, mens tilsvarende relativistiske presesjon (som ikke skyldes påvirkning fra andre planeter) er ca. 0,43 buesekunder pr. år for Merkurs perihel. Omløpsperioden i pulsarbanen er også mindre enn 8 timer sammenliknet med ca. 3 måneder for Merkur i solsystemet. Dette gir en observerbar periodisk Doppler-effekt som viser at pulsaren beveger seg sammen med en kompanjong omkring et felles tyngdepunkt. Selve pulsaren er en hurtig-roterende nøytronstjerne med en egenrotasjonsperiode (pulsarperiode) på bare 0,059 s, som er utrolig stabil på grunn av dreieimpulsbevarelse. Denne pulsarperioden forventes å forandre seg mindre enn 5% i løpet av en million år, dvs. vi har her en "klokke" i Universet som er på høyde med moderne "atomklokker".

For det andre, kan et slikt roterende dobbeltstjernesystem, ifølge Einsteins generelle relativitetsteori, også sende ut såkalte gravitasjonsbølger eller gravitasjonsstråling, som det hittil ikke har vært mulig å bekrefte eksperimentelt. Nå viser observasjoner av PSR 1913+16 at baneperioden minker med ca. 0,000075 s pr. år, dvs. de to nøytronstjernene beveger seg raskere og raskere omkring felles-tyngdepunktet i en minkende bane (spiral). Dette kan skyldes utsendelse av gravitasjonsstråling; og hvis en slik antagelse inkluderes i et energiregnskap, stemmer teoretiske forutsigelser utrolig bra med observerte verdier for minkingen av baneperioden, dvs. med en differanse på mindre enn 0,5%. Dette kan da oppfattes som et indirekte bevis for eksistensen av gravitasjonsbølger, selv om de fortsatt ikke er observert eksperimentelt.

Erlend Østgaard

∞

Erratum

Bokkronikk: The Farm Hill Transcripts

I min bokkronikk om The Farm Hill Transcripts, FFV Nr. 4 – 1993, side 116, er professor R. Peierls ved en beklagelig lapsus tildelt galt fornavn. Det korrekte fornavnet er Rudolf, eventuelt Sir Rudolf.

Johannes M. Hansteen

∞

Husk kontingenten!

Skriv i FFV

Framvekst og framtid for kjernekraft

Olav Steinsvoll *

I 1992 var det 60 år siden nøytronet ble oppdaget og 50 år siden den første kjernefysiske kjedereaksjon styrt av mennesker ble satt i gang. Disse to begivenhetene har vært viktige milepeler i menneskehetens historie. Bakgrunnen for den siste hendelsen var ønsket om å slå Hitler-Tyskland i kappløpet om atombomben. I 1945 ble så 3 atombomber sprengt, og den annen verdenskrig fikk sin dramatiske slutt.

Den nye kunnskapen og teknikken brakte også med seg innføring av forskingsreaktorer som nøytronkilder for produksjon av isotoper til bruk som strålekilder og sporstoffer i medisinen, landbruket og industrien, og for bruk innen kondenserte fasers fysikk. Ioniserende stråling har derfor reddet tusenvis av liv rundt i verden, og vår viten om faste stoffer og væsker har tatt store skritt framover pga. nøytronspredning.

Ny innsikt og ny teknikk har også gitt oss muligheten til å nytte uranreaktorer for å produsere store mengder varme og elektrisitet i det vi kaller kjernekraftverk. Etter at den kalde krigen er opphørt, vil 40 års kjernefysisk opprusting også ta slutt, og verden kan forhåpentligvis i stedet bruke all oppsamlet kunnskap, kompetanse og høyt utdannede menneskelige resurser til utvikling av enda sikrere og kanskje helt nye former for kjernekraftverk.

Sprengdelen av atomladningene som skal ødelegges, utgjør en betydelig energiresurs. Behandlingen av brukte brenselsstaver vil sikkert gjennomgå radikale forbedringer. I stedet for å ta vare på hele utbrente staver, vil en la dem gå til renseanlegg der en tar ut de 3 % av stavvekta som utgjør den virkelige radioaktive forurensinga. Dessuten vil en la ytterligere 3 % av stavene som utgjøres av de fisjonsdyktige kjerner av plutonium og Uran-235, bli resirkuleret sammen med det rensede Uran-238 som nytt brensel i reaktorer.

Uranreaktorer for plutoniumproduksjon

De store reaktorene som ble bygd i USA under siste verdenskrig, var utelukkende optimalisert til å produsere bombeisotopene av plutonium (Pu^{2n+1}), f.eks. Pu-239, ved en transformasjon av uran (U-238) forårsaket av nøytronabsorpsjon i urankjernen. Bomber kan også lages av uranisotopen U-235, men den må skilles ut fra naturlig forekommende uran ved en kostbar fysisk prosess. Plutonium kan skilles fra uran ved en langt billigere kjemisk prosess. De store Pu-produksjonsreaktorene i Hanford, staten Washington (1944), var moderert med grafitt, men kjølt med vann, altså samme grunnkonstruksjon som reaktorene av Tsjernobyl-typen. De britiske reaktorene i Windscale, nå kalt Sellafield, var også moderert med grafitt, men kjølt med luft. Dette skulle bli katastrofalt da det i 1956 ble overoppheting av grafitten og til slutt brann pga. den såkalte Wignereffekten.

Vannmodererte reaktorer

Under krigen ble det også gjort beregninger over å bruke både vanlig vann (lettvann) og tungtvann som både moderator og kjølemiddel i uranreaktorer. I en rapport ble det gjort rede for de store fordelene ved å bruke uran anriket på U-235 og lettvann i en trykkvannsreaktor for framdrift av ubåter. Den første tungtvannsmodererte reaktoren, CP-3, ble bygd allerede i 1944 ved Argonne-laboratoriet ved Chicago. Den ble seinere modellen for den norske tungtvannsreaktoren JEEP 1, som ble startet opp i 1951 på Kjeller.

Elektrisitet fra uranreaktorer

Den 20. desember 1951, produserte uranreaktoren, EBR-1, i Idaho, USA, nok strøm til å få 4 lyspærer til å gløde. I SSSR skjedde det samme noe seinere ved reaktoren i Obninsk. I 1954 ble ubåten "Nautilus" sjøsatt i USA. Den ble det første reaktordrevne fartøy, utstyrt med en trykkvannsreaktor. Ti år seinere var det bygd flere kjernekraftverk for elektrisitetsproduksjon både i USA, Storbritannia, Frankrike og SSSR, og atomubåter med raketter med kjernefysiske sprengladninger pløyde verdenshavene. Hydrogenbomba var funnet opp og

*Institutt for energiteknikk, Kjeller.

utprøvd, og noen reaktorer ble bygd for å skaffe tritium (^3_1H) til bruk i de nye bombene.

"Der Krieg ist der Vater aller Dinge" er et forferdelig prøyssisk ordspråk, men ser ut til å passe bra for den tekniske utviklinga i disse åra. Det betydde lite at krigen var såkalt "kald". Bygging og vedlikehold av atomubåtene i USA ble satt bort til industrien (General Electric og Westinghouse). Ved å bruke lettvann som moderator kunne en lage svært kompakte reaktorkjerner fordi lettvann er en mer effektiv nøytronmoderator enn tungtvann. Lettvann "spiser" riktignok opp forholdsvis flere nøytroner enn tungtvann, men dette kan kompenseres ved å anrike uranbrenslet på U-235. Brenselselementene kan altså plasseres nærmere hverandre i reaktortanken, og de ytre dimensjonene blir moderate.

Etterhvert som årene gikk, fikk en svært god driftserfaring med disse spesielle ubåtreaktorene, og firmaene ble interessert i å lage kommersielle oppskalerte utgaver av dem for sivilt bruk på landjorda, men nå i form av kjernekraftverk for produksjon av elektrisitet. Etter at den russiske Sputniken ble sendt opp i 1957, fikk amerikanske myndigheter hastverk med å komme i gang med noe på dette området, og valget falt naturligvis på lettvannsreaktorer. De kom i to utgaver, enten som kokvannsreaktorer (BWR), figur 1, (Gen. Electric) eller som trykkvannsreaktorer (PWR), figur 2, (Westinghouse).

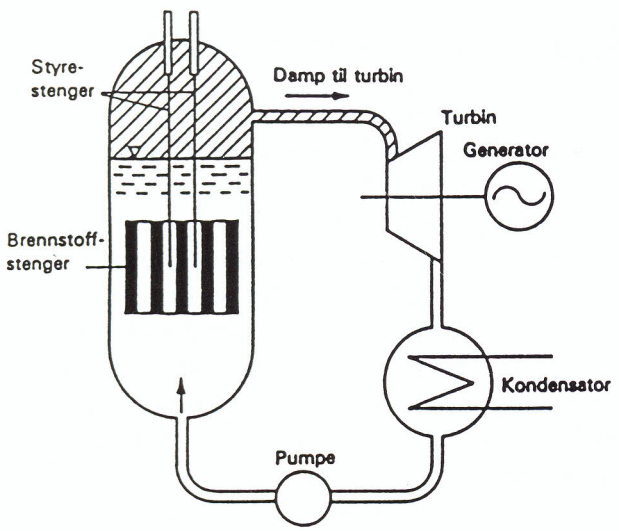


Fig.1. Forenklet framstilling av varmeflyten i en kokvannsreaktor (BWR). Brenselselementene (svarte) står i en kraftig stålbeholder som inneholder lettvann. Lettvannet virker både som moderator for nøytronene og som kjølevæske. Det sirkulerer mellom elementene og blir oppvarmet til kokepunktet inne i beholderen. Det dannes vanndamp ved høg temperatur (315^0C) og trykk (85 atm) inne i beholderen. Dampen nyttes direkte til å drive en turbin og en elektrisk generator.

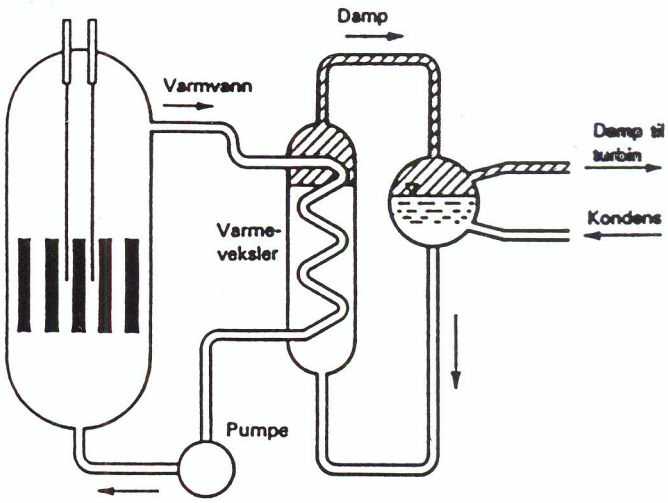


Fig.2. Forenklet framstilling av varmeflyten i en trykkvannsreaktor (PWR). Flytende lettvann sirkulerer mellom brenselselementene og blir varmet opp av dem. Vannet tas ut av reaktorbeholderen ved høy temperatur og trykk (150 atm) og avgir varmen til en annen krets av lettvann i en varmeveksler. Lettvannet i sekundærkretsen bringes til fordamping, og dampen nyttes til å drive en turbin og en elektrisk generator.

Det er mange som mener at dette var et dårlig valg. For sivilt bruk der en hadde nok plass, var flere andre reaktortyper tenkbare, både kjølte med edelgasser og med flytende natrium. Høy temperatur og lavt trykk kjennetegner dem. En høytemperatur gasskjølt reaktortype ville sannsynligvis ha vært både mer effektiv og sikrere enn de to lettvannsreaktortypene som har behersket det sivile markedet i over 30 år. En hadde kanskje unngått folks motstand mot kjernekraft dersom amerikanerne hadde tatt seg tid til å finne den optimale reaktortypen før de satte i gang i femti- og sekstiåra. Vi skal se seinere at høytemperatur gasskjølte reaktorer sikkert vil få sin renessanse.

De optimistiske 70-åra og situasjonen nå

USA har vært, og vil være, toneangivende innafor feltet kjernekraft, og vi vil se på utviklinga i de siste 20 åra der borte. I de optimistiske 1970-åra spådde Atomenergikommisjonen i USA at en ved århundreskiftet ville ha mer enn 1000 store kjernekraftanlegg i gang der. Ved en forsiktig prognose fra dagens forhold kan vi forutsi at det ikke vil bli mer enn toppen 110 slike kraftverk i USA ved århundreskiftet. Av disse vil 64 reaktorer være mer enn 20 år gamle.

La oss se nærmere på situasjonen i våre dager. Kjernekraft leverer faktisk et solid bidrag til elektrisitetsproduksjonen i verden. Det fins idag 420 kjernekraftverk i 26 land, som til sammen produserer 327 GWe (Gigawatt elektrisk). Frankrike ligger på topp

med 72,3 % av elektrisiteten fra kjernekraft, Belgia nr. 2 med 59,3 %, Sverige nr. 3 med 51,6 %, Ungarn nr. 4 med 48,4 %, USA nr. 13 med 21,7 % og det forhenværende SSSR nr. 18 med 12,6 %. Innen USA er det likevel en del stater som produserer mer enn 50 % av sin elektrisitet ved kjernekraft, bl.a. Vermont med hele 76 %.

Årsaken til stagnasjonen i USA

Hva er årsaken til at pionérlandet USA har sakket så langt bak resten av verden? I en rapport om dette blir følgende grunner angitt: Veksten i elektrisitetsforbruket har avtatt drastisk, kostnadene på slik produsert elektrisitet har økt betydelig sammen med den tida det tar å bygge og starte opp et kjernekraftverk. Kjernekraftverkene klarte heller ikke å oppnå den driftssikkerheten som var forespeilet, og sist men ikke minst, befolkningen i USA vendte seg bort fra denne teknologien og mente den ikke var ønsket i samfunnet. La oss se litt nærmere på de forskjellige faktorene.

Redusert vekst i elektrisitetsforbruket

De to oljesjokkene i 1971–72 og i 1978 førte til at USA begynte å spare energi, både privat og i industrien. Maskinelt utstyr og prosesser ble mer energieffektive og husa ble bedre isolert. Veksten i el-forbruk ble i 1974 spådd til å bli 7,6 % pr. år for det kommende ti-året, mens den i virkeligheten bare ble 2,9 %. Et langvarig økonomisk tilbakeslag i USA forsterket tendensen.

I et kjernekraftverk er det det mekaniske utstyret, slik som trykktank, skjermingsutstyr, rørledninger, hus av stål og forspent betong, flerdobling av alt kontrollutstyr osv. som koster penger. Brenslet utgjør bare en liten del av kostnadene. Mens kjernekraftverkene utover i 1970-åra var under konstruksjon, inntraff flere uhell som satte støkk i både USAs befolkning og det statlige kontrollverket NRC. Virkningen var at kravene til en hel rekke kjernekraftverk under bygging ble endret kontinuerlig under byggeperioden, konstruksjonene måtte stadig endres, og tida for fullføring trakk ut. Gjennomsnittlig byggetid i USA i 1980 åra var 11 år! I Frankrike var tilsvarende byggetid 6 år og i Japan 4 år. Alt dette førte til at finansieringskostnadene økte, og dermed også prisen på elektrisiteten.

Dårlig driftssikkerhet

Hvert kjernekraftverk er storprodusent av elektrisitet og blir satt inn som grunnlastverk i et elektrisitetsnett. De bør derfor kunne gå 100 % av tida. Brøkdelen av tida som kjernekraftverka i USA virkelig produserte strøm var i 1987 nede på 60 %, mens Finland lå på over 90 %, V.Tyskland på 73 % og Japan på 68 %. Den daglige drifta av slike kraftverk setter også store krav til kompetansen til dem som sitter ved kontrollspakene. I 1970-åra var det flere ganske alvorlige uhell som raskt kunne spores tilbake til operatørenes manglende kompetanse og forståelse av hvordan kraftverket fungerte. Flere tilfeller av sovende reaktoroperatører eller annen ureglementert oppførsel hos driftspersonale og ledelse, førte videre til at 4 reaktorer ble avstengte over natta av NRC for opptil 4 år, uten at det hadde vært noe direkte uhell ved noen av disse reaktorene.

Det er likevel ulykkene ved Three Mile Island kraftverket i 1979 og ved Tsjernobyl i 1986, som sitter i hele verdens bevissthet. I det første tilfellet var det en mekanisk ventil som ikke lukket seg og en manglende forståelse hos kontrollpersonalet for hva dette innebar. Tsjernobylreaktoren var i utgangspunktet ustabil (den hadde såkalt positiv void-koeffisient under et visst effektnivå) og uten sikkerhetsbeholder, og ville ikke blitt bygd i Vest-Europa. I tillegg hadde helt ukompetente folk tiltatt seg kontroll over kraftverket med katastrofale følger.

Negativ holdning hos befolkningen

På grunn av alt dette er kjernekraft kommet i sterk miskreditt, ikke bare hos USAs befolkning, men også i resten av verden. I tillegg kommer bekymringene for hvordan en skal ta vare på det radioaktive avfallet, både det lavaktive og det høyaktive. Hos folk flest er det generelt en dårlig forståelse av risikobegrepet, og en irrasjonell frykt for alt som sender ut ioniserende stråling. Det faktum at alle mennesker hele livet lever i et naturlig strålingsfelt er ikke gått inn i befolkningens bevissthet. Vi mottar stråling fra berggrunnen, fra himmelrommet og fra radioaktive kalium- og karbonatomer i vår egen kropp. På grunn av den spesielle berggrunnen i Norge, ligger bakgrunnsdosen her på det dobbelte av verdensgjennomsnittet (4 mSv mot 2 mSv i verden ellers).

Subjektiv risikofølelse

I Tyskland har en påvist at befolkningen generelt har dårlig risikoforståelse; noen risikoer blir sterkt undervurdert (f.eks. bilkjøring og røyking), mens andre risikoer blir sterkt overvurdert (f.eks. kjernekraftverk og radioaktivitet). Undervurdering skjer altså i tilfeller der mange uhell stadig skjer på mange ulike steder og ved forskjellig tidspunkt, og når en samtidig tror å ha god greie på farenes årsak og virkning. Dessuten spiller det en stor rolle om en har følelsen av å mestre faren og derved sjøl kan innvirke på risikoen en tar. Avgjørende er også følelsen av at en frivillig utsetter seg for en risiko, og at en der og da har direkte utbytte eller nytelse av å påta seg den risikoen.

Overvurdering av risikoer skjer derimot når en kan forestille seg et mulig uhell som en skikkelig katastrofe med all den gru og uhygge som dette medfører, når en ikke kjenner særlig til årsaker og hendelsesforløp og ikke har følelse av sjøl å kunne innvirke på det. Aviser og elektroniske media puster til slike forestillinger ved straks å beskrive og bringe bilder av katastrofe-scenarioer ved de minste tilløp til feil eller driftsuhell. Det blir glemt eller underslått at i den matematiske definisjonen av risiko,R, inngår produktet av to faktorer, nemlig P, som er sannsynligheten for et uhell av en bestemt type, og C, som er uhellets konsekvenser eller virkning: $R = P \cdot C$. Media konsentrerer seg altså bare om det verst tenkelige tilfelle, altså en stor spesialverdi av faktoren C, uten å regne med den lille sannsynligheten P for at denne inntreffer. (Ved det minste tilløp til vansker ved et kjernekraftanlegg, om det er aldri så bagatellmessig, blir vi alltid vist flyfoto av den ødelagte Tsjernobyl-reaktoren i NRK Dagsrevyen). Som i all industriell virksomhet, er det en stor sannsynlighet P for en mengde små feil og uhell med små virkninger C. Omvendt er det meget liten sannsynlighet for uhell med store konsekvenser.

Følelsen av at en er pådyttet en unødvendig risiko spiller også en rolle. Den direkte nytte av et kjernekraftverk kommer først fram når befolkningen i en by må felle alle parktrærne eller rive gamle trebygninger for å skaffe seg brensel (Erevan i Armenia).

Forsking og teknikk nyter nok stor tiltro og anseelse blant folk, særlig når det gjelder medisinske framskritt som kan bekjempe sykdommer og avhjelpe lidelser, men tiltroen snur seg ofte til skepsis og motvilje når de tekniske anvendelser av naturvitenskapelig forsking antas å kunne innvirke på menneskets "natur" eller naturen i alminnelighet. Å slippe ut eller utsette andre for ioniserende stråling, antas i mange kretser som "å tukle med naturen", selv ved aktiviteter og doser som ligger mange tier-potenser under det vi daglig omgås med eller utsettes for av naturlig opphav. Hvert år undersøkes og behandles 50 000 nordmenn med radioaktive preparater.

Er det framtid for kjernekraft?

Fordi USA har vært det ledende land innen teknologien, vil USAs veivalg være av avgjørende betydning for resten av verden. Flere nye idéer om sikrere reaktorkonstruksjoner er under utredning. En avansert trykkvannsreaktor (APW600 PWR, Westinghouse) med såkalt passiv sikkerhet, vil ha flere fordeler sammenliknet med dagens anlegg, se figur 3. I denne konstruksjonen har en lagt vekt på at naturlig konveksjon og tyngdekrafta skal klare å takle eventuelle uhell med reaktoren. I forhold til de gamle konstruksjonene skal den ha under halvparten så mange ventiler, 35 % færre store pumper, bare en firedel av røropplegget og en femdel av antall rørskjøter. ASEA i Sverige har to liknende idéer på tegnebrettet, nemlig reaktorene PIUS og SECURE.

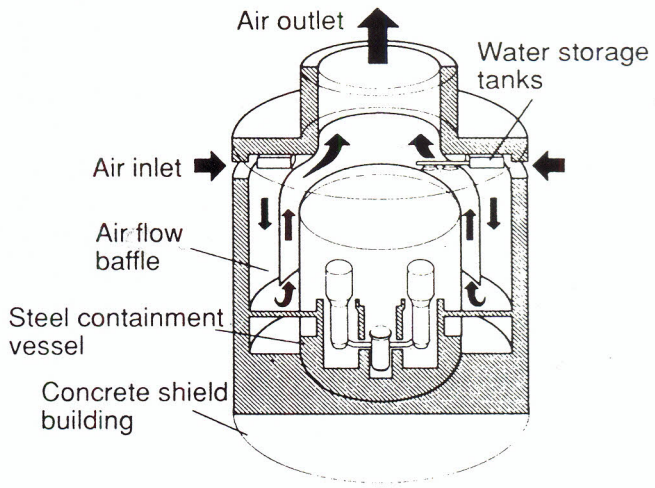


Fig.3. Forbedret utgave av trykkvannsreaktortypen (PWR). Figuren viser ett av nødkjølesystemene. Stålhuset rundt reaktorbeholderen er omgitt av enda en huskonstruksjon. Ved for sterk oppvarming av stålhuset, avgis vann fra beholdere oppunder taket av det ytre huset. Stålhuset avkjøles ved fordamping av vannet, og dampen føres ut til atmosfæren sammen med luft som sirkulerer ved naturlig konveksjon rundt det indre området.

En annen nyskapning er den såkalte MHTGR (*modular hightemperature gas cooled reactor*) fra General Atomics. Den skal kjøles med heliumgass og kan derfor arbeide ved langt høyere temperatur enn AP600. En annen spesiell egenskap er prinsippet om *containment in the pellet*. Her er brenselet små kuler av uran-

oksid (0,8 mm i diameter) omgitt av pyrolitisk grafitt og silisiumkarbid i lag utapå hverandre. I tilfelle et uhell med høy temperatur i brenslet, skal ikke skallet kunne smelte, og radioaktiviteten fra brenslets fisjonsprodukter vil holdes innesluttet. På denne måten vil en kunne slippe å bygge et såkalt *containment*, den kostbare klokka av stål og forspent betong rundt reaktoren.

De store anstrengelsene i retning av fornyelse innen kjernekraftindustrien har ennå ikke ført til at E-verkene i USA har vist noen interesse for å bestille noen reaktorer med ny design. På den andre sida har de klart å forbedre belastningsfaktoren med 10 prosentpoeng opp til 70,2 % i gjennomsnitt på de allerede eksisterende reaktorene. Det har hjulpet en god del på kjernekraftas omdømme i USA.

Filosofien har også endret seg når det gjelder mulighetene for menneskelig inngripen ved uvante situasjoner og foreteelser ved kjernekraftverk som er i gang. I Sverige vil en stole helt på automatikken og programmene og la datamaskinene ha kontrollen fullt og helt i en viss tid (0,5 timer) og ikke tillate noen operatør å foreta overilte inngrep. Ved flere av de uhellene som er kjent, ville alt ha gått bedre dersom automatikken og ikke reaktoroperatørene hadde fått bestemme hva som skulle gjøres.

I USA har flere firmaer sine egne reaktorkonsept som de konkurrerer på markedet om å selge til E-verkene. Et slikt opplegg gjør det imidlertid vanskelig å lage en god statistikk for uhell og hendelsesforløp slik at en kan lære av mulige feil i konstruksjonen eller i operative vurderinger. Det er derfor et sterkt ønske om å standardisere flest mulig av enhetene som inngår i konstruksjonene. En vil i tillegg få økonomiske besparelser. Det er ikke tvil om at franskmennene har vært foregangsmenn på dette området, og med godt resultat.

Haldenprosjektet 1958–1993

Haldenprosjektet og reaktoren feirer 35-års jubileum i år. Mye av arbeidet ved IFEs internasjonale Haldenprosjekt går ut på å øke sikkerheten og driftspåliteligheten ved komplekse prosessanlegg generelt i fabrikker, kjernekraftstasjoner og på oljeplattformer osv. Driftsoperatørene får bedre arbeidsforhold når alle styrings- og overvåkingsfunksjoner samles i sentrale kontrollrom. Der er samspillet mellom menneske – maskin (prosess) via datamaskiner, en viktig faktor. Forsking har vist at en entydig presentasjon av prosessinformasjon ved skjermbasert fargegrafikk fører til færre menneskelige feil i styring og overvåking. Et annet viktig område er arbeidet for å forbedre pålitelig-

Et hjertesukk fra en kjent fysiker

Det grunnleggende problem for kjernekraftindustrien er ikke reaktor sikkerhet, ikke lagring av avfall, ikke faren ved spredning av atomvåpen, selv om disse tingene er reelle og alvorlige nok. Nei, det grunnleggende problem for industrien er at ingen lenger har noe moro av å bygge reaktorer. Under de rådende forhold er det utenkelig at en gjeng med entusiaster ville samles i et gammelt skolehus og planlegge, bygge, lisensiere og selge en reaktor i løpet av 3 år. En gang mellom 1960 og 1970 gikk moroa ut av reaktorbygging. Entusiastene, oppfinnerne, eksperimentatorene og investorene ble drevet ut og bokholderne og direktørene tok over styringa. Dette skjedde ikke bare i den private sektor, men også i statslaboratoriene slik som Los Alamos, Livermore, Oak Ridge og Argonne. Gruppene av unge, flinke forskere som var vant med å finne opp, bygge og eksperimentere med en hel mengde ulike reaktortyper ble sagt opp. Bokholderne og direktørene fant ut at det ikke var kostnadseffektivt å la de flinke unge forskerne leke med sine merkelige reaktorkonstruksjoner. De underlige reaktortypene forsvant, og med dem enhver sjanse for gjennomgripende forbedringer utover de typene vi allerede har. Vi sitter igjen med et lite utvalg reaktortyper som er i bruk, hver type lukket inne i et kolossalt byråkratisk regelverk som gjør alle forsøk på forandringer umulige. Hver type er til dels teknisk utilfredsstillende og mindre sikre enn mange andre tenkbare og mulige planløsninger som er blitt forkastet. Ingen bygger reaktorer for å ha det moro lenger.

Freeman Dyson: Disturbing the Universe. (Harper, NY, 1979, s 104-105).

heten av den bakenforliggende programvaren. Gjennom internasjonalt samarbeid er det utviklet spesielle metoder som kan brukes under hele systemutviklinga slik at skjermbildet gir et absolutt korrekt bilde av prosessen til enhver tid. I den siste tida har en også fått russerne med i samarbeidet i Haldenprosjektet. Det kan bli et viktig bidrag til å forbedre sikkerheten ved russiske kjernekraftanlegg på Kola. Halden har etter hvert opparbeidet internasjonal spisskompetanse på sikkerhetsteknologisk forsking.

Før kjernekraft går inn i "fase II"

Vi vil kalle fase 2 for kjernekraft en tidsperiode da en har funnet fram til en kjernekraft-teknologi basert på uranbrensel som er sikrere enn den nåværende og som derfor blir alment akseptert av store lag av befolkningen. Med fase 3, kan vi i denne sammenhengen betegne tidsperioden der en har fått til lukkede brenselskretsløp for hurtige formeringsreaktorer, *fast breeders*, der det produseres flere spaltbare atomer enn det forbrukes. Uranforekomstene i verden vil da dekke hele verdens energibehov i flere hundre år. Vi vil ikke

gå inn på denne teknologien her.

Oljealderen tar slutt om 50 år, og dermed det "det søte liv" i det minste for oss europeere. I mellomtida vil sannsynligvis brenning av kull og olje for elektrisitetsproduksjon ha økt drivhuseffekten slik at den blir ganske ubehagelig merkbar. Det svovelsure regnet vil ha ødelagt skogene og annen vegetasjon over store deler av verden. En må anta at når de rasjonelle bekymringer over virkningene av den økte drivhuseffekten og mangel på lett transportabel energi overtar for den fullstendig irrasjonelle bekymringen for ioniserende stråling, da først vil en få en ny giv for kjernekrafta i USA og seinere ellers i verden. I mellomtida vil nok land med færre energiressurser, slik som Frankrike, Syd-Korea og Japan, arbeide videre med sine kjernekraftplaner. I statene som oppsto etter Sovjetsamveldets sammenbrudd, er det nå stor energimangel og et kraftig press for å fullføre påbegynte kjernekraftverk og reparere og vedlikeholde gamle som egentlig burde vært skrotet. Alt dette skjer til tross for Tsjernobyl.

I Sverige har de nylig gått fra planene om å skrote sine 12 kjernekraftverk i år 2000 ved at "levetida" er utvidet til år 2010. I Finland har et knapt politisk flertall gått mot bygging av et femte kjernekraftverk. Finland har imidlertid behov for nye 2000–3000 MW på kraftnettet fra årtusenskiftet.

Forholdene i Norge

På grunn av de store energiressursene våre (vasskraft og olje), vil vi i overskuelig framtid ikke ha noe behov for å innføre kjernekraft i elektrisitetsnettet. Men vi er omgitt av land som ikke har like mange valgmuligheter på energiområdet som Norge. Som høyteknologiland vil vi også sjøl måtte nytte radioaktive stoffer og stråling i forsking, innafor medisinen (både til diagnose og behandling) og i industrien. IFE og reaktoren på Kjeller produserer 70 % av landets behov for slike stoffer og tjenester. Ved sykdommer er vi alle potensielle "kunder" for tjenester som omfatter bruk av stråling. Det er god internasjonal folkeskikk at hvert land tar hånd om det avfallet det produserer. Vi bør derfor alle være interessert i at både befolkning og media har en avbalansert og rasjonell holdning til stråling.

Som fysikere har vi derfor en stor oppgave foran oss med å avmystifisere radioaktivitet og ioniserende stråling. Det eksisterer ingen "atomfri kommune"; det er ioniserende stråling overalt hvor menneskene ferdes. Livet på jorda er oppstått under strålingsforhold som var sterkere enn i dag, og stråling har kanskje nettopp vært drivkraften bak livets oppståen og utvikling av det biologiske mangfoldet.

Vi fysikere har delte meninger om utnyttelsen av kjernekraft. Hos noen av oss vekker det sterke motforestillinger å ta denne i bruk. Det sterke sambandet mellom fredelig utnytting av kjernekraft og produksjon av atomvåpen, har nok spilt en stor rolle. Under studiet av bio- og strålingsfysikk i femtiåra, fikk jeg stor respekt for stråling og dens virkninger, og i åras løp har jeg selv deltatt i atommarsjer og aksjoner mot atomvåpen. Men jeg har framleis bevart innstillinga blant fysikerne i den tida om at kjernekraft har så mange positive sider å by menneskeheten at disse mulighetene bør utnyttes. Mulighetene bør i alle fall ikke sløses bort i unyttige våpenkappløp som kan true menneskehetens eksistens. Seinere slo som kjent stemningen om, og alt som var forbundet med kjernekraft og radioaktivitet ble ansett for å være like ille som produksjon og prøving av atomvåpen.

Stort informasjonsbehov om stråling

Det må være mulig å oppnå enighet blant oss fysikere om de vesentlige vitenskapelige fakta vedrørende radioaktivitet, strålingsrisiko i forhold til dagliglivets risikoer, spørsmål om risiko innen kjernekraftteknologien osv. Som fysikere har vi alle et felles ansvar for å gjenopprette tilliten mellom naturvitenskapen og befolkningen. Vi har fått i oppgave av samfunnet å konsentrere oss om å finne sammenhengene i naturen og må formidle resultatene våre til oppdragsgiverne. Vi må ut i aviser og tidsskrifter med populariseringer og forklaringer for å få vekk myter og misforståelser når det gjelder forsking og teknikk. Men det er mange "tyver" på dette markedet: New Age, scientologer, astrologer, healere, ekstreme og fanatiske grupper av naturvernere som tyr til terrorisme og trusler "for den gode sak". Noen av disse gruppene mener at de også bedriver vitenskap. Det er disse gruppene media har mest kontakt med og tror mest på, og de øver også stor innflytelse over kunnskapsformidlere på alle nivåer, fra skolelærere til politikere. Når hvalsaken behandles, understreker myndighetene stadig at en bare bør ta hensyn til vitenskapelige og dokumenterte forhold, og media har sluttet opp om disse synspunktene. Det ville være gledelig om både myndigheter og media ville legge samme prinsipp til grunn når stråling og strålevirkninger berøres.

Noe må ha gått rivende galt i naturfagsundervisninga når omtrent 50 % av nordmenn tror at all radioaktivitet er menneskeskapt. Dessuten mener 21 % av befolkninga at folk som blir utsatt for ioniserende stråling vil dø, uansett dose. Til og med på øverste

undervisningstrinn er det misforståelser. Jeg har bl.a. hatt vanskelig for å overbevise studenter i fysikk hovedfag om at en uranreaktor som den på Kjeller, ikke kan eksplodere som en atombombe. Noe av dette er kanskje følgene av at lærerne kan undervise i naturfag i ungdomsskolen med bare "ei kvart årseining" som bakgrunn fra lærerhøgskolene.

Slik som utviklinga går, er det fare for at vi havner inne i et sidespor som kjennetegnes av det som skjedde under et opplysningsmøte i Fet kommune om atomavfalls-deponiet i Himdalen: Møtedeltakerne slokte lyset, tente stearinlys og sang istedetfor å høre på foredragsholderne. NIMBY- (*Not in my backyard*) syndromet er tydeligvis svært utbredt i Norge også.

∞

Referanser

1. Steinsvoll, O.: *Nøytronet 60 år.* FFV **54,** 70 (1992)
2. Steinsvoll, O.: *Nøytronfysikkens utvikling.* FFV **54,** 100 (1992)
3. Pappas A.C.: *Energi via kjernekraft – Del I.* FFV **55,** 35 (1993)
4. Pappas A.C.: *Energi via kjernekraft – Del II.* FFV **55,** 69 (1993)
5. Stephenson, R.: *Introduction to Nuclear Engineering.* McGraw-Hill Co., Inc., NY (1958)
6. Wethe, P.I.: *Kjernekraft, forelesningshefte for NTH.* IFE, Kjeller (1992)
7. U.S. National Research Council: *Nuclear Power; Technical and Institutional Options for the Future.* National Academy Press, Washington (1992)
8. Weinberg, A.M.: *Nuclear energy and the greenhouse effect* Int. J. Global En. Issues **2,** 99 (1990)
9. U.S. National Academy of Sciences: *Policy Implications of Greenhouse Warming.* National Academy Press, Washington (1991)
10. Intergovernmental Panel on Climate Change: *1992 IPCC Supplement.* WMO and UNEP
11. Cohen, B.L.: *The Nuclear Energy Option: An Alternative for the 90s.* Plenum Press, NY (1990)
12. Ahearne, J.F.: *The Future of Nuclear Power.* Am. Scientist **81,** 24 (1993)
13. Taylor, J.J.: *Improved and Safer Nuclear Power.* Science **244,** 318 (1989)
14. Sekimoto, H. (ed.): *Potential of Small Nuclear Reactors for future Clean and Safe Energy Sources.* Proc. Conf. in Japan 1991. Elsevier, Amsterdam (1991)
15. Norsk Samfunnsvitenskapelig Datatjeneste (NSD): *Undersøkelser om verdier, natur og miljø.* Rapport (1993)
16. Henriksen, T., A. Storruste, T. Strand, T. Svendby og P.I. Wethe: *Stråling og helse.* Fysisk institutt, Universitetet i Oslo (1993)

Good Heavens!

Here is a story we heard about what happened when the ubiquitous e-mail net work finally linked the heaven to the earth.

The recently departed physicist X was assigned the following e-mail address on his arrival in paradise:

X@eden.heaven.par

And shortly thereafter he received a message from his friend Y still down on the earth, enquiring how things were up there. He sent the following reply back to Y: *I have good news and bad news for you. Good news are that theoretical physics is doing very well here. There is no funding prolblem and no shortage of brainpower. We have regular discussions and seminars where Newton, Maxwell, Einstein, Schrödinger, Heisenberg, Dirac, Feynman and so many others participate. They have still not found the Theory of Everything. So physics is not at an end contrary to what some of them tell you on the earth.*

Relieved to know that! replied Y. *Now, tell me the bad news.*

There was a pause befor X replied: *They have arranged a seminar by you next week.*

∞

Kontroll av den norske 1 kg riksprototypen

Thor Myklebust *

Et kilogram har helt siden 1889 vært definert som massen av kilogramnormalen som oppbevares ved det internasjonale byrå for mål og vekt (BIPM) i Paris. Hvert land har sin kopi, eller riksprototyp, samt flere såkalte primærnormaler. Av forskjellige årsaker forandrer massen av disse loddene seg med tiden, og alle nasjonale riksprototyper må derfor kalibreres med jevne mellomrom. Den tredje kalibreringen, eller verifiseringen, av de nasjonale 1 kg riksprototypene er nettopp avsluttet. Den ble påbegynt i 1989 og ble ferdig i 1993. Sammenligningene og vurderingene tok, som tidligere, 3–4 år.

I november 1989 ble Norges riksprototyp levert til BIPM. Der ble den kalibrert, renset og kalibrert igjen, sammen med andre lands prototyper. Etter at vi fikk prototypen tilbake, er den videre brukt til å kalibrere våre 1 kg primærnormaler.

Definisjonen av 1 *kg* ble nærmere presisert i 1989: *Et kilogram er massen av den internasjonale kilogramnormal umiddelbart etter at den er rengjort og vasket* [2] *i henhold til BIPM-metoden for å rengjøre og vaske lodd* [6]. Det ble videre presisert at dette ikke var en forandring av definisjonen fra 1889 fordi man også tidligere har rengjort og vasket prototypene. Kilogramnormalen er forøvrig den eneste av de sju grunnleggende SI-enhetene der definisjonen er basert på en gjenstand. Alle andre enheter er basert på naturkonstanter. Den internasjonale kilogramnormalen er derfor meget godt tatt vare på. Hver gang den skal benyttes, må tre personer med hver sin nøkkel komme for å åpne de aktuelle låsene.

Ole-Jacob Broch

Utviklingen av de første prototypene ble i sin tid ledet av en nordmann, Ole-Jacob Broch. Han var direktør ved BIPM fra 1879 til 1889, og Norge fikk sin riksprototyp i denne perioden.

Broch var en allsidig mann. Foruten at han arbeidet innen fysikk, regnes han også som grunnleggeren av forsikringsselskapet Gjensidige [15]. Han ble også flere ganger valgt inn på Stortinget, og i en av disse periodene var han statsråd. Broch tilskrives æren for grunnleggelsen av Det norske justervesen (NJV).

Det var Broch som ledet arbeidet med å få Norge til å gå over til det metriske system. Den 12. mai 1875 vedtok Stortinget "Lov om metrisk Maal og Vægt". Som en kuriositet er det verdt å nevne at vår unionspartner Sverige, vedtok en lignende lov først 3 år senere.

Den norske riksprototypen

I 1889 fikk Norge ved loddtrekning tildelt riksprototyp nr. 36. Den oppbevares vanligvis i Norges bank, og forvaltes av Det norske justervesen. I Norges bank er den forvart under en glassklokke inne i et godt låst skap, og brukes kun til kalibrering av primærnormalene. Også her må tre forskjellige offentlig utpekte personer med hver sin nøkkel, låse opp[10].

Siden kalibrering foregår via flere nivåer, er det nødvendig å ha en uavbrutt 'sporbarhetskjede'. *Sporbarhet* er definert som *den egenskap ved resultatet av en måling at verdien gjennom en ubrutt kjede av sammenligninger av normaler kan settes i relasjon til nasjonale eller internasjonale normaler.*

Sporbarhetskjeden fra kilogramnormalen i Paris til loddnormaler som blir benyttet i industrien, er vist på figur 1.

Den tredje kontrollen av riksprototypene

Den tredje periodiske kontrollen av riksprototypene begyndte i 1989 og foregikk i flere trinn. Først ble BIPMs *kopier* av kilogramnormalen sammenlignet med den orginale kilogramnormalen. Deretter sendte de forskjellige landene sine riksprototyper til BIPM. Den norske prototypen ble levert i november 1989 som diplomatpost, innpakket i et spesielt reiseetui.

I alt ble 34 nasjonale prototyper kontrollert i tillegg til 4 nye, pluss 1 prototyp fra Académie des Sciences de Paris. Disse prototypene ble sammenlignet med to offi-

*Direktoratet for Måleteknikk, Oslo

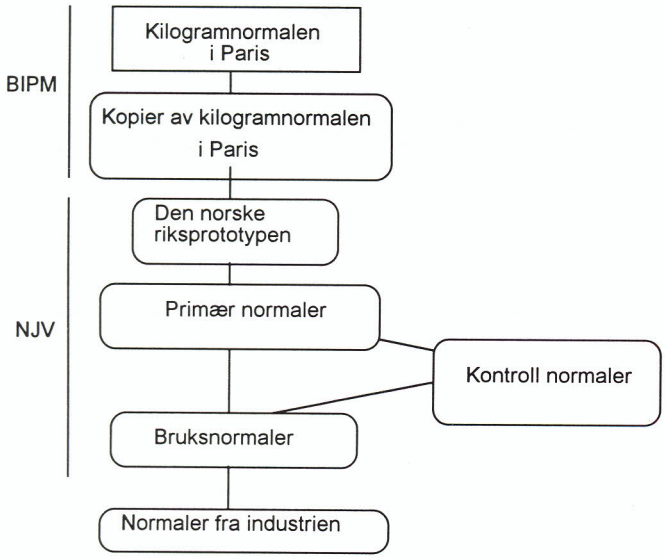


Fig.1. Sporbarhetskjeden fra kilogramnormalen i Paris til loddnormaler som benyttes i industrien.

sielle kopier av den internasjonale kilogramnormalen, som igjen ble sammenlignet med den internasjonale kilogramnormalen både før og etter den tredje periodiske kontrollen.

Alle riksprototypene ble kalibrert både før og etter at de var blitt rengjort og "vasket" i henhold til BIPM-metoden [6]. Loddene vaskes i en blanding av etanol og eter, og resultatet for vår prototyp ble:

Før vasking	$1\ kg + 0,258\ mg$
Etter vasking	$1\ kg + 0,206\ mg$

Den norske prototypen ble altså $52\ \mu g$ lettere ved vasking. Siste gang den ble kalibrert var i 1948. Den gang ble resultatet etter vasking $1\ kg + 186\ \mu g$. Hva verdien var før vasking ble ikke kontrollert. I desember 1992 ble prototypen returnert; men det gjenstod flere kompliserte beregninger av bl.a. usikkerheten, før sertifikatet hvor riksprototypens masse er angitt, kunne mottas i juni 1993. Sertifikatverdien for massen var da funnet allerede 25. februar 1991.

I sertifikatet fra BIPM er det angitt at prototypenes masse øker pga. forurensing, med $0,037\ \mu g$ pr. dag de første 3 månedene. Den totale usikkerheten til vår prototyp er anslått til å være $\pm 0,0023\ mg$ for $k = 1$ og 12 frihetsgrader. ($k = 1$ tilsvarer ett standardavvik hvis man forutsetter at fordelingen er Gauss-fordelt, og 12 frihetsgrader betyr antall målinger minus begrensningene.) Usikkerheten ble beregnet i henhold til retningslinjene [3,8].

Kalibrering av de nasjonale primærnormalene

Loddenes størrelse og form

Den internasjonale prototypen er laget av 90 % *platina* og 10 % *iridium*. Den er en sylinder som er 39 mm høy og har en diameter på 39 mm (se figur 2). Den er formet slik for å ha stor masse med liten overflate, og samtidig ha en hensiktsmessig form. Densiteten er 21500 kg/m^3 [11].

De norske primærnormalene består av en spesiallegering av stål med densitet nær 8000 kg/m^3, fordi det er ønskelig at den skal ha en densitet som er nær den konvensjonelle verdien [13]. (Det er blitt internasjonal enighet om at lodd som benyttes i handel og vandel skal ha en densitet nær denne verdien pga. luftoppdriften.) I tillegg er denne legeringen svært lite følsom for magnetfelt. Disse normalene har en bredde på 48 mm og en høyde på 71 mm. Den norske riksprototypen sammen med en av primærnormalene, er vist på figur 2.

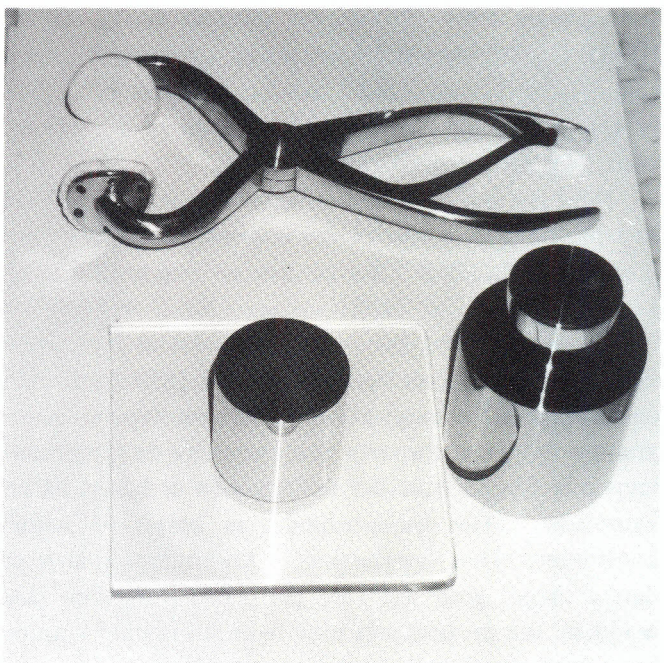


Fig.2. Den norske 1 kg riksprototypen (t.v.) sammen med en av våre primærnormaler.

Målesystem

Sammenligningen mellom riksprototypen og våre 1 kg primærnormaler ble foretatt på en massekomparator (spesielt nøyaktig vekt) samtidig som temperatur, duggpunkt og lufttrykk ble målt [5,7]. Disse målingene ble utført om natten, blant annet fordi det da er mindre vibrasjoner pga. biltrafikk, utenfor laboratoriet. Videre

er luftens sammensetning mest stabil om natten. Spesielt gjelder dette CO_2-konsentrasjonen. Luftens sammensetning må måles fordi oppdriften i luft er av vesentlig betydning [1,4]. Som nevnt ovenfor, har loddene forskjellig densitet, og derfor også forskjellig volum. På grunn av ulik oppdrift, virker prototypen ca. 100 mg tyngre enn primærnormalen.

Tyngdekraften

Tyngdekraften F som virker mellom to legemer er gitt ved:

$$F = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2},$$

hvor M i vårt tilfelle er jordmassen, m er loddets masse, og r er avstanden mellom de to massenes massemiddelpunkter. G er den universelle gravitasjonskonstanten.

På grunn av forskjellen i størrelse og form, har loddenes tyngdepunkter en høydeforskjell på 16 mm når de står på et felles horisontalt underlag. Tyngdens akselerasjon er dermed noe mindre ved tyngdepunktet til den høyeste normalen, og denne høydeforskjellen mellom normalenes tyngdepunkter tilsvarer en masseforskjell på $0,8\ \mu g$.

Usikkerhet

Det er flere bidrag til usikkerheten i kalibreringen av primærnormalene, og bidragenes årsaker og størrelser er listet nedenfor. Det enkelte bidrag i μg (for $k = 1$), er angitt i parentes.

- *Oppdrift i luft.* Usikkerhet i den empiriske formelen for beregning av lufttetthet (10). Usikkerhet pga. temperatur (3), fuktighet (1), lufttrykk (3) og CO_2 -innhold (0,5). For hver av disse komponentene, med unntak av CO_2, er usikkerheten funnet som en kombinasjon av følgende: kalibrering av instrumentet, instrumentets drift over tid, at målingen foregår noen centimeter fra der loddene veies, ulineariteten til massekomparatoren, og usikkerhet ved selve målingen. Usikkerheten for CO_2 er basert på målinger fra lignende laboratorier.

- "*Between times uncertainty*" (3,5). Dette er standardavviket til gjennomsnittsverdien av de måleresultatene man har oppnådd på forskjellige dager.

- *Riksprototypen.* Fra sertifikatverdien (2,3), samt (3) fordi vi ikke vet eksakt hvor raskt den har "lagt på seg". (Denne usikkerhetskomponenten gjelder for mars 1994.)

I tillegg kommer det en del andre usikkerhetskomponenter: Målingene utføres på forskjellig tidspunkt (3), beregningene kunne vært mer optimalisert (3), tilleggslodd som legges oppå normalene for at loddene skal virke like tunge (4), standardavviket til en måleserie (1), loddenes volum (1), støv (1), forskjellig grad av adsorpsjon av vann (1) [9] og ulinearitet i massekomparatoren (0,5).

Den totale usikkerheten for $k = 2$, blir dermed $\pm 27\ \mu g$ [8]. Denne usikkerheten finnes ved å ta roten av de adderte komponentene og multiplisere med en faktor k.

Konklusjon

Enheten for masse vil fortsatt være definert ved kilogramnormalen i Paris i en del år fremover, da usikkerheten er så liten at ingen andre metoder foreløpig kommer opp mot den nøyaktigheten som er oppnådd ved den nylig avsluttede tredje verifisering.

Ved kalibrering av våre 1 kg primærnormaler ble det oppnådd en total usikkerhet på 210 μg (for $k = 2$) *før* den tredje verifiseringen ble påbegynt [12]. I den siste fireårs-perioden er nøyaktigheten forbedret ved å benytte en mer nøyaktig massekomparator og ved å måle luftparametrene mer nøyaktig. Den totale usikkerheten, som nå er på $\pm 27\ \mu g$ (for $k = 2$), er derved redusert til $1/8$ av usikkerheten som ble oppnådd for 4 år siden.

Referanser

1. *Formule pour la Détermination de la Masse volumique de L'air humide.* BIPM (1981)

2. *Proc.-Verb. Com. Int. Poids et Mesures.* BIPM **57**, 104 (1989)

3. *The expression of Experimental Uncertainties.* BIPM Recommendation INC-1 (1980)

4. R.S. Davis: *Equation for the Determination of the Density of Moist Air (1981/1991).* Metrologia **29**, 67-70 (1992)

5. V. Fodstad: *Utvikling av et automatisk målesystem for massekomparering.* Diplomoppgave ved DFM, februar (1992)

6. G. Girard: *The washing and cleaning of kilogram prototypes at the BIPM.* BIPM (1990)

7. R. Gjetsund: *Automatisk måling av influensparametre og videreutvikling av styresystem for massekomparator.* Diplomoppgave ved DFM, desember (1990)

8. *Guide to the expression of uncertainty in measurement.* ISO/TAG 4/WG 3, June (1992)

9. M. Kochsiek: *H_2O-Adsorptionsschichten an Oberflächen von Massenormalen.* PTB Mitteilungen 87, 6/77 (1977)

10. Kgl. resolusjon av 20. desember (1934)

11. T. Myklebust: *Generelt om masse.* DFM, juli (1991)

12. T. Myklebust: *Kalibrering av riksprototypen* DFM, november (1989)

13. *Konvensjonell verdi for veieresultat i luft.* TI 009, Det norske justervesen, (1974)

14. S. Westin: *Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab.* Universitetsforlaget, Oslo, (1983)

∞

Konferanser

Spåtind-konferansen i partikkelfysikk

For trettende gang møttes nordiske partikkelfysikere til konferanse på Spåtind høyfjellshotell. Det etterhvert så tradisjonsrike arrangementet hadde denne gang samlet 87 deltakere, hovedsakelig fra de nordiske land, men også fra flere ikke-nordiske institusjoner som f.eks CERN, DESY (Hamburg) og SLAC (USA).

Denne konferansen oppmuntrer unge forskere til å delta, og var da også denne gangen preget av mange unge deltakere, der iblant 8 hovedfags- og doktorgradsstudenter fra Norge. For å ta hensyn til alle de unge deltakerne, blir foredragsholderne bedt om å ha en pedagogisk profil på innleggene samtidig med at fullt ut oppdaterte resultater skal gis. Dette er et av de trekk som gir denne konferansen sitt særpreg, og som gjør den spesielt egnet for en bred oppdatering av kunnskapene også for de eldre deltakerne. De 16 inviterte foredragsholderne løste denne dobbeltrollen som rapportør/pedagog med glans, og gav til sammen et meget godt bilde av situasjonen i dagens partikkelfysikk. I tillegg til de inviterte foredragsholderne, gav 22 av deltakerne kortere presentasjoner av sine arbeider.

På den eksperimentelle siden, fikk vi siste nytt fra LEP (S. Bethke og J. Steinberger) og om fysikken ved den energioppgraderte LEP, LEP-200, som planlegges å være operativ fra 1996 (D. Treille). Videre var det interessant å se at SLD ved Stanford ved hjelp av sine polariserte stråler oppnår resultater som gir viktige supplementer til LEP-resultatene (P. Burrows). Topp-kvarken er fortsatt ikke er funnet, trass iherdige anstrengelser ved CDF ved Fermilab (M. Albrow). Vi fikk også en oversikt over resultater fra den relativt nylig operative HERA-maskinen ved DESY (A. Wagner). Dette er en helt unik fasilitet, idet det her produseres elektron–proton kollisjoner ved meget høye massesenter-energier. Tungione-fysikken ble også behørig omtalt (H. Satz).

Teoriforedragene tok opp flere emner med ulik tilknytning til den eksperimentelle delen, fra status av QCD (F. Wilczek) og en innføring i fysikken ved HERA (W. Bucmüller), via foredrag om supersymmetri (F. Zwirner) og omtale av de såkalte strengteorier (M. Green), til astrofysiske emner som svarte hull (F. Wilczeck) og kosmologi (L. Krauss).

Vi fikk også innføringer om en del nye prosjekter i partikkelfysikk, med omtale av både teoretiske og eksperimentelle aspekter. Dette gjaldt et prosjekt for studier av CP-brudd ved en nylig godkjent "B-Factory" ved SLAC (G. Eigen), og omtale av instrumentering ved LHC-eksperimenter (B. Aubert og S. Stapnes), der kravene til detektorenes hurtighet og strålingsbestandighet er helt andre enn ved noen nåværende maskin. Vi fikk også en omtale av NLC (Next Linear Collider), som er et samlenavn for flere utviklingsprosjekter for elektronstråler med rekordhøye energier, og av den fysikken som kan gjøres med en slik maskin (B. Wiik).

Arrangementet ble denne gang organisert fra Norge, hovedsakelig fra Bergen, under meget dyktig ledelse av professor Per Osland. Norsk Fysisk Selskap bidro med kr 6000 til kjærkommen støtte til oppholdet for de yngre norske deltakerne. NORDITA bidro også med støtte spesielt øremerket for yngre forskere. Arrangementskomitéen er videre svært takknemlig for essensiell støtte til arrangementet fra NORFA (Nordisk Forskerutdanningsakademi) og Norges Forskningsråd. Norges Forskningsråds nye fagkonsulent i partikkelfysikk, L. Hambro, var også til stede og orienterte om den nye rådsstrukturen.

Undertegnede sitter igjen med det inntrykk at deltakerne var meget fornøyde med arrangementet, særlig på grunn av det høye faglige nivået. Men denne konferansen er også spesielt populær på grunn av den gode sosiale stemningen og høyt sportslig aktivitets-

Fra Fysikkens Verden

55. årgang
1993

Norsk Fysisk Selskap
Oslo 1993

ISSN-0015-9247

Innhold FFV 1993

Nr. 1:

Fra Redaktørene 2
FFV Gratulerer 2
Hiroshima og Nagasaki – August 1945
Hans Péceli 3
Atmosfærens produksjon og destruksjon av ozon
Kjell Henriksen og Trond Svenøe 12
"Månens innverknad på elementærpartikkelmassar"
Hallstein Høgåsen 14
Bokomtaler 14
R.A. Maduro and R. Schauerhammer: The Holes in the Ozone Scare. 21st Cent. Sci. Assoc., Washington, DC, 1992.
Helmut Ormestad og Otto Øgrim: Fysikk på roterommet. Universitetsforlaget, 1992.
Ray d'Inverno: Introducing Einstein's Relativity. Claredon Press, Oxford, 1992.
J.M. Hansteen (ed.): The Nobel Jubilee 1991, A Mini Symposium at The University of Bergen.
Nils H. Fløttre: Bevegelse i rommet. Tilvalgsstoff i 3FY. Universitetsforlaget, 1993.
Innhold FFV 1992 16
Trim i FFV 21
Nye Doktorer 21
Dr.scient. Sverre Jakob Alvsvåg
Dr.scient. Knut Steinar Bjørkevoll
Dr.ing. Jon Thomas Kringlebotn
Dr.ing. Bjørnar Lund
Dr.ing. Olav-Magnar Nes
Dr.ing. Rudie Spooren
Dr.ing. Wu Ting
Hva skjer 25
Nytt fra NFS 25
Fysikermøtet 1993
Reisestipend til Fysikermøtet
Årsmøtet 1993
Årsmøtet 1992
Teoretisk fysikk møte på Utstein
Nye medlemmer
Program for Fysikermøtet

Nr. 2:

Gjest i FFV 34
Ingerid Hiis Helstrup: Reform 94 og 1MA
FFV Gratulerer 34
Energi via kjernekraft – Del I
Alexis C. Pappas 35
Effekten av ioniserende stråling
Eli Olaug Hole 43
Nobelprisen i fysikk 1992
Torleiv Buran 51
Tvillingparadokset 54
Magne Kringlebotn: Tvillingparadokset – supplementum
A.M. Raaen: Spesiell relativitetsteori og tvillingparadokset
Øyvind Grøn: Kommentar
Tsjernobyl igjen 59
I. Hiis Helstrup: Kommentar til en artikkel av Tormod Riste
Tormod Riste svarer
Bokomtaler 60
N.G. Chetaev: Theoretical Mechanics. Mir Publischers, 1987. Oversatt fra russisk, Springer-Verlag, 1989.
Nye Doktorer 61
Dr.ing. Bård Johan Arnt Bjørkvik
Dr.ing. Gunnar Taraldsen
Dr.ing. Erik Wold
Trim i FFV 62
Nytt fra NFS 63
Plasma- og gassutladningssymposiet 1993
Nye medlemmer

Nr. 3:

Fra Redaktørene 66
In Memoriam: Helmut Ormestad
Eivind Osnes 66
Helmut Ormestad
Aud Veen Noodt 67
FFV Gratulerer 68
Energi via kjernekraft – Del II
Alexis C. Pappas 69
Kaos og Størmers problem
Kai T. Hansen 77
Nye miljøvennlige batterityper
O. Steinsvoll og A. Mæland 82
Konferanse: Fraktale vekstprosessar
Vidar Frette 87
Meningsytring 88
Hans Skoie: Norges forskningsråd – bestemt ovenfra?
Bokomtaler 89
Paul Davies: The Mind of God. The Scientific Basis for a Rational World. Simon and Schuster, New York, 1992.
Nye Doktorer 91
Dr.scient. Marit Pedersen
Dr.scient. Litian Wang
Dr.scient. Shao Xiong Zhou
Trim i FFV 92
Tsjernobyl igjen 93
Ingerid Hiis Helstrup: Kommentar til Tormod Riste
Nytt fra NFS 93
Årsmelding
Erratum: Tvillingparadokset 95

Nr. 4:

Fra Redaktørene 98
FFV Gratulerer: Professor Haakon A. Olsen 70 år
Kjell Mork og Per Osland 98
Lars Onsager – en stor fysiker og kjemiker
Per Chr. Hemmer og Eivind Hiis Hauge 100
Lars Onsager – min doktorgradsveileder
Joseph L. McCauley 104
450 år siden Copernicus
Frode Grini 106
Lars Onsager-historier
Ivar Gjæver 110
Konferanser 111
P.C. Hemmer: Lars Onsager-symposium på NTH
P. Maltby og H. Pécseli: Mini-workshop i plasma- og solfysikk
Tsjernobyl igjen 112
Tormod Riste: Kommentar til Ingerid Hiis Helstrup
Fra Fysikkens Historie 113
L. Vegard: Fra den internationale Kongres i Brüssel
Norske standarder for fysiske størrelser og enheter
Trygve Holtebekk 115
Bokkronikk: Operation Epsilon: The Farm Hall Transcripts. Inst. Phys. Publ., Bristol and Philadelphia, 1993.
Johannes M. Hansteen 116
Bokomtaler 119
Alan Lightman: Einsteins drømmer. J.W. Cappelens Forlag A/S, 1993.
B.L. Cohen: The Nuclear Energy Option. An alternative for the 90's. Plenum Press 1990.
Nye Doktorer 121
Dr.scient. Erling Andersen
Dr.scient. Cato Bjelland
Dr.scient. Lars Ersland
Dr.scient. Alfred Hansen
Dr.scient. Håvard Helstrup
Dr.ing. Geir Ove Rosvold
Dr.scient. Aase Charlotte Bøe Tjølsen
Trim i FFV 125
Nytt fra NFS 125
Årsmøtet 1993
Fysikermøtet 1994
IBMs Fysikkpris 1994
Nye medlemmer

∞

Forfatter–register

Armstrong, R.J.:
Plasma- og gassutladningssymposiet 1993 63
Brevik, Iver:
Bokomtale: N.G. Chetaev: Theoretical Mechanics.
Mir Publischers, 1987. Oversatt, Springer-Verlag, 1989 60
Buran, Torleiv:
Nobelprisen i fysikk 1992 51
Frette, Vidar:
Konferanse: Fraktale vekstprosessar 87
Gjæver, Ivar:
Lars Onsager-historier 110
Grini, Frode:
450 år siden Copernicus 106
Grøn, Øyvind:
Tvillingparadokset – kommentar 57
Hansen, Kai T.:
Kaos og Størmers problem 77
Hansteen, Johannes M.:
Bokkronikk: Operation Epsilon: The Farm Hall Transcripts.
Inst. Phys. Publ., Bristol and Philadelphia, 1993. 116
Hauge, Eivind Hiis og Per Chr. Hemmer:
Lars Onsager – en stor fysiker og kjemiker 100
Helstrup, Ingerid Hiis:
Reform 94 og 1MA 34
Helstrup, Ingerid Hiis:
Tsjernobyl – Kommentar til Tormod Riste 59
Helstrup, Ingerid Hiis:
Tsjernobyl – Kommentar til Tormod Riste 93
Henriksen, Kjell og Trond Svenøe:
Atmosfærens produksjon og destruksjon av ozon 12
Henriksen, Tormod:
Årsmelding 93
Hemmer, Per Chr. og Eivind Hiis Hauge:
Lars Onsager – en stor fysiker og kjemiker 100
Hemmer, Per Chr.:
Lars Onsager-symposium på NTH 111
Hole, Eli Olaug:
Effekten av ioniserende stråling 43
Holtebekk, Trygve:
Helmut Ormestad og Otto Øgrim: Fysikk på roterommet.
Universitetsforlaget, 1992. 18
Holtebekk, Trygve:
Norske standarder for fysiske størrelser og enheter .. 115
Høgåsen, Hallstein:
"Månens innverknad på elementærpartikkelmassar" .. 14
Jarrett, Gerd:
Årsmøtet 1992 26
Jarrett, Gerd:
Årsmøtet 1993 125
Knutsen, Henning:
Bokomtale: Ray d'Inverno: Introducing Einstein's Relativity.
Claredon Press, Oxford, 1992. 19
Knutsen, Henning:
Bokomtale: Nils H. Fløttre: Bevegelse i rommet.
Tilvalgsstoff i fysikk, 3FY. Universitetsforlaget, 1993 20
Knutsen, Henning:
Bokomtale: Paul Davies: The Mind of God.
The Scientific Basis for a Rational World.
Simon and Schuster, New York, 1992 89
Knutsen, Henning:
Bokomtale: Alan Lightman: Einsteins drømmer.
J.W. Cappelens Forlag A/S, 1993 119
Kringlebotn, Magne:
Tvillingparadokset – supplementum 54
Løvhøiden, Gunnar:
Bokomtale: J.M. Hansteen (ed.): The Nobel Jubilee 1991,
A Mini Symposium at The University of Bergen 20
Maltby, Per og Hans Pécseli:
Mini-workshop i plasma- og solfysikk 112
McCauley, Joseph L.:
Lars Onsager – min doktorgradsveileder 104
Mork, Kjell og Per Osland:
Professor Haakon A. Olsen 70 år 98
Mæland, A. og O. Steinsvoll:
Nye miljøvennlige batterityper 82
Noodt, Aud Veen:
Helmut Ormestad (in memeoriam) 67
Osland, Per:
Teoretisk fysikk møte på Utstein 27
Osland, Per og Kjell Mork:
Professor Haakon A. Olsen 70 år 98
Osnes, Eivind:
In Memoriam: Helmut Ormestad 67
Pappas, Alexis C.:
Energi via kjernekraft – Del I 35
Pappas, Alexis C.:
Energi via kjernekraft – Del II 69
Pécseli, Hans:
Hiroshima og Nagasaki – August 1945 3
Pécseli, Hans og Per Maltby:
Mini-workshop i plasma- og solfysikk 112
Rabbe, Åsmund:
Bokomtale: R.A. Maduro and R. Schauerhammer:
The Holes in the Ozone Scare.
21st Cent. Sci. Assoc., Washington, DC, 1992 14
Riste, Tormod:
Tsjernobyl – Tormod Riste svarer 59
Riste, Tormod:
Tsjernobyl – Kommentar til Ingerid Hiis Helstrup .. 112
Raaen, Arne Magnus:
Spesiell relativitetsteori og tvillingparadokset 55
Skoie, Hans:
Norges forskningsråd – bestemt ovenfra? 88
Steinsvoll, O. og A. Mæland:
Nye miljøvennlige batterityper 82
Steinsvoll, Olav:
Bokomtale: B.L. Cohen: The Nuclear Energy Option.
An alternative for the 90's. Plenum Press 1990. 120
Vegard, L.:
Fra den internationale Kongres i Brüssel 113

nivå. Det siste ble understreket ved et skirenn arrangert siste dagen med strålende solskinn, glitrende føre og mange deltakere!

Bjarne Stugu

∞

Teoretisk fysikk møte på Kronen Gaard

Faggruppen for generell teoretisk fysikk organiserte i helgen 12.–14. november 1993 et faglig møte på Kronen Gaard Hotell, Vatne, Sandnes. Dette var faggruppens andre møte i Utstein-serien. Det første var i 1992. Møtet kunne ikke arrangeres på Utstein kloster denne gang, da klosteret for tiden renoveres.

Der var spesielt invitert to fra NORDITA, Johan Bijnens og Igor Novikov. Deltakerne ellers kom i hovedsak fra universitetene i Bergen, Oslo og Trondheim, samt fra Høgskolesenteret i Rogaland. Fem av deltakerne var doktorgradsstudenter.

Lørdagen og søndagen ble brukt til innledende foredrag av henholdsvis Novikov og Bijnens, om binære pulsarer (årets Nobelpris) og effektive Lagrangefunksjoner med anvendelse i kiral perturbasjonsteori. Hulse–Taylor pulsaren, eller PSR 1913+16 som den mer offisielt heter, ble oppdaget i 1974. Pulsaren antas å være del av et binært system hvor begge stjernene er nøytronstjerner, og der den ene er en emitter (pulsar). I løpet av disse 19 årene siden pulsaren ble oppdaget har det vært mulig å etablere dens parametre med meget stor presisjon, og derved konstatere at systemet taper energi på en måte som er konsistent med gravitasjonsstråling.

Ved møtet var det dessuten kortere presentasjoner av de øvrige deltakernes aktuelle forskning innen astrofysikk (Knutsen og Østgaard), anyon- og statistisk fysikk (Burgess, Haugset, Neda, Olaussen og Rietman), atomfysikk (Amundsen, Pilkuhn og Veseth), kjernefysikk (Vaagen), partikkelfysikk (Davydychev, Eeg, Fäldt, Kileng, Osland og Skjold) og flere andre grener av den teoretiske fysikk (Engeland, Hansen, Leinaas, Salem og Tafjord).

I en mer uformell sesjon etter middag lørdag kveld orienterte Kåre Olaussen om situasjonen ved NORDITA.

NORDITA støttet møtet ved å dekke reise og opphold for Johan Bijnens og Igor Novikov. Norsk Fysisk Selskap støttet møtet med kr 5 000, som ble fordelt som reisestipend til doktorgradsstudentene.

Kronen Gaard Hotell egner seg godt for denne type møter, bl. a. fordi det byr på en uforstyrret atmosfære, og fordi det er raskt og enkelt å komme dit fra flyplassen på Sola.

Per Osland

∞

Husk Fysikermøtet!

Bokkronikk

Andrej Sakharov: Memoarer. Aschehoug, 1990 (789 sider).

Det er sent å komme med en omtale av Sakharovs selvbiografi nå. Boka forelå ferdig fra Sakharovs hånd et halvt år før han døde i desember 1989. Året etter utkom den både på russisk og norsk. Neste år var Sovjetunionen oppløst. Det regimet Sakharov hadde kjempet mot, var borte. Dette må ikke føre til at mannen går i glemmeboken. Hans mål var ikke en ny statsdannelse, men å skape nye holdninger. Ideene han kjempet for, angår oss like mye nå som da han fikk fredsprisen i 1975. Memoarene er historisk interessante. Men Sakharovs beskrivelse av sin egen kamp, er også en appell til leserne om å kjempe for de samme ideene som han selv kjempet for. Derfor er boka like aktuell i dag som for fem år siden.

Sakharov skriver om hvordan han opplevde sitt forhold til det sovjetiske samfunn. Langsomt endret han holdning fra å være en patriotisk borger, om enn ikke glødende kommunist, til å bli en av statens mest frittalende opposisjonelle.

Boka er et verdifullt historisk dokument. Her skildres russiske samfunnsforhold, patriotiske borgere og mennesker som undertrykkes. Det skrives om byråkrater som la vekt på å følge vedtatte lover og viste en uhyre respekt for vitenskapen, ikke minst for Sakharov: Medlem av Videnskapsakademiet og hovedansvarlig for konstruksjonen av fusjonsbomben. Mot dette stilles virksomheten til KGB, en stat i staten, som byråkratene alltid måtte vike for.

For fysikere er mennesket Sakharov mest interessant, et menneske som kommer i en uhyre konflikt mellom tre ledemotiv for sitt liv: Fysikeren med interesse for og innsikt i fundamental fysikk, teknologen og russeren som velger å bruke sine evner for å trygge sitt fedreland mot de farer som truer fra den kapitalistiske verden, og den samfunnsengasjerte nobelprisvinner som for sent oppdager at det samfunn han arbeidet for, øvet vold mot både sine egne borgere og mot verden i sin helhet.

Boka er i høyeste grad memoarer. Den ble påbegynt i 1978. Under arbeidet ble et foreløpig manuskript og verdifulle notater stjålet av KGB. Rekonstruksjonen måtte for en stor del foregå etter hukommelsen. I 1982 var arbeidet avsluttet, og han regnet med en snarlig utgivelse. Men det ferdige manuskriptet ble også stjålet. Det tok fem nye år å rekonstruere det. På den måten er det kommet med noen interessante kommentarer fra hans siste leveår.

Sakharov var av god borgerlig familie. Hans far var fysikklærer. I familien var det aristokrater som uttalte seg kritisk om Stalins regime. Faren gjorde ikke det, iallfall ikke overfor sin sønn. Kritikk av regimet kunne ødelegge framtidsmulighetene hans. Derimot lærte han ham at en revolusjon krevde ofre. Overgrep må en finne seg i over en tid, hvis en ønsker at noe bedre skal vokse fram. Farens skeptiske holdning til regimet gikk likevel ikke sønnen helt forbi. Hans mor sørget for en kristen oppdragelse og opplæring. Hjem og familie var preget av respekt og interesse for det beste i russisk kultur.

Krigen forsterket fedrelandskjærligheten og lojaliteten overfor regimet. Det var under krigen Sakharov fikk sin vitenskapelige utdannelse. Hans jevnaldrende studenter i resten av verden måtte avbryte sin utdannelse for å gjøre aktiv krigstjeneste. Kommunistene forstod at det var nødvendig å komme videre når krigen sluttet. De tok derfor vare på sine talenter. De fikk fortsette studiene, men måtte samtidig utføre militære oppdrag. Etter fullførte grunnstudier i 1943, valgte Sakharov først å arbeide med tekniske problemer i en våpenfabrikk, men fikk i 1944 tilbud av lederen for Lebedev-instituttet i Moskva, den kjente teoretikeren Igor J. Tamm, om å fortsette med videregående studier i kosmologi og feltteori. Her ble han i 1948 tildelt sin kandidatgrad. Så ble det valg mellom vitenskapelig arbeid eller militær forskning. Fristelser om utstyr og forskningsmuligheter langt over hva Lebedev-instituttet kunne tilby, moralsk press ved å fremholde den plikt den gode forsker hadde til å la fedrelandet nyte godt av sine evner, og en fordekt ordre om å gjøre det staten krevde, gjorde valget enkelt. Mens han studerte hadde han to ganger avslått liknende tilbud. Nå måtte han godta det, selv om det betydde innskrenket bevegelsesfrihet, begrenset mulighet for familieliv og slutt på en fri vitenskapelig forskningskarriere.

Hva hans videre forskning bestod i, og hvilken rolle han egentlig spilte, gir boka få opplysninger om. Han var helt til det siste lojal mot løftet om ikke å uttale seg om sitt hemmelige arbeid. Han sier innledningsvis at han skulle være med "å gjøre teoretiske og tekniske beregninger omkring mulighetene til å lage en hydrogenbombe." Senere omtaler han arbeidet som 'prosjektet' og resultatet som 'objektet'. Hva han gjorde, kommer bare fram når han gjengir uttalelser der han blir omtalt som oppfinneren av hydrogenbomben, og når han omtaler prøvesprengningene og sine betenkeligheter og protester mot den måten disse ble utført på.

Det er interessant å lese om hvorledes han litt etter litt våkner og ser konsekvensene av det han gjør.

Det er ikke selvbebreidelse. Han forsvarer landets rett til å kunne regnes som likeverdig med USA på våpenområdet. Han sjokkerer ved å skrive om hvor tilfeldig sikkerheten omkring prøvesprengningene ble ivaretatt. Bare 14 dager før den første prøven i 1953, begynte de å snakke om risikoen for stråleskader, og tok noen forholdsregler, bl.a. ved å evakuere titusener av mennesker som ellers ville blitt påført akutte stråleskader. Skader av mindre doser ble ikke nevnt. Virkningen av trykk- og varmebølge var undervurdert. Bare noen timer etter eksplosjonen beveget de seg inn i det høyaktive området. Ved neste prøve, i 1955, omkom to personer på grunn av trykkbølgen. Da fikk Sakharov bekymringer. Da hadde han også en posisjonen som gjorde at han ble hørt på, selv om ikke rådene hans alltid ble fulgt.

Alt i 1953 var han etter initiativ fra de politiske myndighetene blitt tildelt doktorgrad og blitt fullt medlem av Vitenskapsakademiet. Han bevarte sitt nære forhold til sin tidlige lærer Igor Tamm, en mann han omtaler med uhyre respekt både som forsker og menneske. Han var, etter Sakharovs mening en av de få blant de kjente fysikerne som mestret balansekunsten mellom å beholde sin stilling og sin integritet, som våget å synge ut når noen gikk for langt, men som også skjønte nødvendigheten av å beherske seg. Forholdet til Kapitza var atskillig fjernere. Også Kapitza var kjent for sin resolutte holdning overfor styresmaktene, men etter Sakharovs mening, først og fremst for å forsvare sine egne rettigheter og sitt eget institutt. Noen støttespiller i Sakharovs politiske kamp ville han ikke være. I sine sluttbetraktninger sier Sakharov likevel at han kanskje tidligere hadde felt en for hard dom, og at det hadde foregått spill bak kulissene som han ikke ante noe om.

I perioden etter de første prøvene ble Sakharov stadig mer opptatt av de biologiske virkningene av den radioaktive strålingen og faren for en global forurensning. Hans beregninger, basert på opplysninger fra vestlige kilder og gjort som "verst mulig" antagelser for årtusener framover, gav anslag på over 10 000 ofre per megatonn TNT sprengvirkning. Beregningene offentliggjorde han i 1959, midt i diskusjonen om internasjonale avtaler om prøvestans. I Sovjet ble artikkelen tatt alvorlig, men den veide ikke opp det synet at Statens sikkerhet måtte prioriteres foran menneskeliv. At artikkelen ikke ble lagt merke til i den vestlige verden, begrunner han med at hans navn var nesten ukjent. Det virker underlig at han ikke var klar over at debatten også i Vesten alt var i gang, men at beregningene hans virket overdrevne og derfor ikke ble tillagt større vekt. Til tross for sine advarsler fortsatte han som leder for prosjektet for superbomben med styrke på 50 megatonn TNT, som ble sluppet i 1962. Men han var lite begeistret for prøven. Han stolte på sine egne beregninger. Noen dager senere ble det sluppet en mindre og mer tradisjonell bombe. Dette var etter Sakharovs mening helt overflødig, og han truet med å forlate prosjektet.

Fordi han fortsatt ønsket å øve innflytelse i diskusjonen om prøvestans, gjorde han ikke alvor av trusselen. Men hovedinteressen vendte seg nå mot fundamental fysikk. Midten av 60-årene ble hans aktive periode som fysiker. Også her hevdet han seg blant de fremste. Men det ble en kort periode. Han ble for engasjert i samfunnsspørsmål. Han mente også at hans aktive rolle som forsker var redusert på grunn av alder og helse.

Hans inntreden i den politiske debatt, protester mot tilfeldig frihetsberøvelse og forsvar for akademisk frihet, ledet til et slikt spenningsforhold til styresmaktene at han gradvis ble fjernet fra sin stilling. I 1968 fikk han sin endelige avskjed og kom tilbake til Moskva. Omtrent samtidig inntraff slutten på et 26-årig ekteskap. Hans første hustru døde av kreft. Sorg over henne og selvbebreidelse for altfor meget å ha overlatt henne til seg selv, medførte det totale brudd med fortiden.

Han var fortsatt akademimedlem og en offentlig vel aktet person. Han ble oppdaget og ønsket som støttespiller av andre opposisjonelle. Selv ser han også mer og mer av urettferdighet og undertrykkelse i samfunnet. Nå blir han kjent med Jelena Bonner, tidligere dekorert soldat og partimedlem. Å lese om hvorledes dette forholdet utvikler seg, kan bare sammenliknes med å lese en romantisk kjærlighetshistorie. To mennesker knyttes sammen i kamp mot et system som de begge hadde ofret sin ungdom for, og de blir etterhvert så samstemte, at det er vanskelig å vite hvem som gjør hva. Det er lett å forstå at Sakharov av sine motstandere ble fremstilt som et offer for jøden Bonner. Selv var han jo rasemessig ren, og burde holdt seg for god til å kjempe for "refusnikerne" Derfor må han også selv stadig understreke at kampen var hans. Det var ikke en rasemessig betinget kamp, men en kamp for hvert menneskes rett til å velge et liv i frihet. Halvparten av boka dreier seg om denne kampen i årene 1970–1983.

Boka er et menneskelig dokument, dypt personlig, ærlig og engasjerende. Men spørsmålet om objektivitet melder seg. Den som skriver om seg selv, blir subjektiv. Sakharovs forsøker å vise en vitenskapelig holdning ved vurderingen av sine egne motiver og handlinger. Han hevder at han handler rasjonelt. Men det

irrasjonelle skinner gjennom. Ikke minst er dette tydelig i forholdet til Jelena Bonner. Selv om han tror det er sine egne meninger han forfekter, er det en undertone som tyder på at det ikke bare er to mennesker som har felles oppfatning, men også at han søker veiledning når vanskelige avgjørelser skal tas.

Boka skal også vurderes som litteratur. Er 800 sider virkelig nødvendig for å presentere seg selv? Er det nødvendig med et personregister på 1100 navn? Finnes det noen lesere som fester seg ved så mye som hundre av disse? Det er interessant å lese om den nære familie, betydningsfulle politikere, kjente vitenskapsmenn og noen av vennene hans. De øvrige tusen, som er nevnt en gang eller to, kan selv ha glede av å se navnet sitt, men forsvinner for leseren. De er med som bevismateriell. Her trer vitenskapsmannen fram. Å bevise overgrep er vanskelig. Sakharov sier rett ut at han mangler bevis for at KGB og politikerne står bak mange episoder som han anklager dem for. Som i fysikken er det ikke gjennom enkeltbegivenheter en teori bevises, men gjennom et så stort tallmateriale at noen annen forklaring blir helt usannsynlig. Den overveldende mengden av episoder er beviset han bygget sin holdning på. Derfor kan leseren hoppe lettvint over navn og hendelser som ikke interesserer, på samme måte som vi kan hoppe over en vanskelig beregning eller et komplisert eksperiment når vi leser en fysikkbok.

Det framgår av den norske oversettelsen at oversetterne, Astrid Bjønness og Per Egil Hegge, arbeidet i nær kontakt med forfatteren. De synes å ha formidlet hans tanker godt. Oversetterne er rutinerte og boka er lettlest. Men noen faguttrykk avviker sterkt fra det en fysiker ville brukt. For oss som kan fagspråket, kan dette virke både skjemmende og sjarmerende. Oversetterne har på russisk eller engelsk spurt forfatteren om de har forstått han riktig, og så valgt sine egne norske ord. Vi ville brukt våre faguttrykk. Men er det ikke ofte slik at det som for fagfolk virker som en klosset formulering, er god popularisering?

Sakharov var ingen romantiker. Han hadde et realistisk syn på forskningen og de muligheter den bød på for å bedre menneskenes levekår. Selv om gode forskningsmuligheter og ubegrensede ressurser nok fristet da han tok sitt valg om å arbeide med våpenprosjektet, tillegger han også sin patriotisme betydelig vekt. Først når han oppdaget at våpenet kunne destruere hele menneskeheten, fikk han betenkeligheter med sitt arbeid. Han var hele sitt liv opptatt av at kjerneenergi var noe som burde komme menneskene til gode. Tsjernobyl-katastrofen så han på som et resultat av det politiske styret. Den kunne vært unngått hvis man hadde stilt samme krav til sikkerhet som man gjør i Vesten. Han hadde ideer om hvorledes landets teknologi kunne utnyttes for å øke sikkerheten. Utnyttelse av kjerneenergi kunne bidra til å øke veksten i hans eget på mange måter tilbakestående land. Å stille urealistiske krav til strålebeskyttelse hadde ingen hensikt. I sin protest mot prøver med kjernevåpen fremholdt han at enhver økning av radioaktiv stråling innebar økt risiko for stråleskader. Men han holdt skaden opp mot nyttevirkningen. Det synes som at det var en befrielse for ham når han i sine siste kommentarer om dette spørsmål (datert 1987) hadde lest at små mengder stråling kanskje kunne ha en positiv virkning ved at strålingen økte kroppens evne til å reparere strålingsskader.

Sakharov ville gjerne vise at han var fysiker. Han har gitt en populær og ytterst kortfattet fremstilling av de fysiske problemene som opptok ham. Innen den fundamentale fysikk, som han ser på som sitt egentlige fagfelt, blir neppe mye stående igjen av det han publiserte. Likevel var han, eller kanskje heller kunne han blitt, en av de virkelig store. Han kan antagelig likestilles med Fermi når det gjelder innsikt og oppfinnsomhet både på teoretisk og eksperimentelt område. Som fysiker må hans skjebne beklages fordi han ikke fikk utfolde seg som han hadde evner til. Som teknolog skal det kanskje heller beklages at han nådde sitt mål. I sin selvbiografi viser han at det finnes andre verdier enn egen posisjon og egen vellykkethet som det er verd å leve for.

Trygve Holtebekk

∞

Bokomtaler

George F.R. Ellis: Before The Beginning. Cosmology Explained. Bogars/Bowerdean. 1993. (152 sider) $ 14.95.

Kosmologi og vidsyn

Kosmologi er vitenskapen om universet som helhet. Ved hjelp av fysikkens lover prøver en å finne ut hva universet består av, hvordan det oppstod, utvikler seg og vil ende. Gravitasjonen er herre og mester i universet. Derfor er de som sysler med denne vitenskapen eksperter innenfor den beste gravitasjonsteori vi nå har, nemlig Einsteins generelle relativitetsteori.

Men i praksis vil en kosmolog ofte være svært opptatt av å fundere fram elegante løsninger på intrikate matematiske problemer. Av og til føler nok derfor en kosmolog trang til å få større perspektiv. Han ønsker rett og slett å se vitenskapen sin i sammenheng med andre sider av menneskenes kulturelle virksomhet. George F.R. Ellis har nå skrevet en hel bok "Before The Beginning. Cosmology Explained", der han forteller om kosmologiens spørsmål, konklusjoner og begrensinger. Men han har også noe å si om religion og moral.

Ellis er en liberal sør-afrikaner og holder til ved universitetet i Cape Town, når han da ikke oppholder seg i Trieste i Italia der han også er professor. Han er en utrolig produktiv vitenskapsmann. Han er også forfatter av et par ypperlige lærebøker beregnet på meget forskjellig nivå. Selv kjenner jeg ham også som en fremragende pedagog og foredragsholder fra forskjellige internasjonale konferanser og sommerskoler.

I denne boka påpeker Ellis at fysikk og kosmologi egentlig ikke *forklarer* verden, hverken Newtons gravitasjonskraft eller Einsteins krumme tidrom forklarer *hvorfor* legemer faller. De representerer bare en elegant formulering av de fellestrekk og regelmessigheter vi finner for all fall-bevegelse. De forteller oss altså *hvordan* legemer faller. Det som har praktisk betydning, er da at vi kan *forutsi* tidsforløpet av en hendelse. Men gravitasjonen forklarer ikke sitt eget innerste vesen og sin egen eksistens. Vi har altså ingen anelse om hvorfor legemer faller. Gravitasjon er bare navnet på et fenomen vi egentlig ikke forstår.

Men vitenskapsfolkene kommer selvsagt ikke fram til naturlovene ved vill gjetning. De prøver å finne fellestrekk ved mange forskjellige fenomener. På grunnlag av denne kunnskapen setter de altså opp et visst system av hypoteser. En må så både undersøke om systemet er fritt for logiske motsigelser og utarbeide konsekvensene av disse hypotesene. Til slutt må så konsekvensene sammenholdes med erfaring og mulig eksperiment for å undersøke sannhetsgehalten av hypotesene. Et slikt hypotese-system eller teori, kan derfor aldri bevises, men må i beste fall nøye seg med å bli bedre og bedre bekreftet.

Men de lovmessighetene som blir stående, behøver ikke å være lette å fatte rent umiddelbart. De står kanskje til og med i en viss motsetning til vår intuisjon.

Relativitetsprinsippet sier at fysikkens lover skal være de samme for alle observatører, uansett hvordan de beveger seg. En har også kommet fram til at ikke noe signal kan bevege seg raskere enn lyset. Men da følger det at begrepet samtidighet blir relativt, og lengden av et legeme blir avhengig av observatør. Det er heller ikke mulig å lage noe anskuelig bilde av atomenes verden der materie både kan oppføre seg som bølger og partikler.

Til gjengjeld er termodynamikkens 2. hovedsetning ganske overbevisende. Den sier at alt beveger seg mot større uorden. Bygninger faller sammen, biler ruster, kopper og kar knuses og støvet faller jevnt og stillferdig. Men da er det ganske merkelig at kompliserte biologiske strukturer oppstår og fremdeles eksisterer. For disse er bygget opp slik at mange forskjellige deler fungerer sammen. Helheten inneholder da noe mer enn de enkelte delene tilsammen. Det er da vesentlig at informasjon kan passere gjennom strukturen slik at eventuelle feil kan korrigeres før resultatet av feilfunksjonen er katastrofalt.

Vår egen eksistens viser at vesener med bevissthet kan oppstå. Men er naturlovene slik at de må oppstå eller representerer vi et heldig slumpetreff? Hvis nysgjerrig intelligens med ekspansjonstrang er vanlig, burde vi hatt kontakt med skapninger fra fremmede kloder for lenge siden. For en kan vise at det bare tar noen hundre millioner år å erobre galaksen.

Men det er jo mulig at andre intelligensformer har en væremåte som er oss totalt fremmed. De oppfatter kanskje kosmos og tilværelsen som meningsfylt på et vis som er oss totalt ufattelig. Er vår frie vilje som medfører ansvar noe enestående i universet?

De fleste mennesker har jo en slags merkelig følelse av hva som er moralsk høyverdig. Denne følelsen er da slett ikke begrunnet av noe profitt-prinsipp, der gode gjerninger belønnes og ondskapen straffes. Men det er vel lite overbevisende og muligens utilbørlig å blande sammen fysikkens modeller som prøver å fortelle oss hvordan verden *er* og religiøs moral som vil si noe om hvordan tilværelsen *bør* være. Kanskje er selve universet uten mål og mening. For i siste omgang er det helt uforståelig at noe som helst eksisterer i det hele tatt.

Henning Knutsen

∞

Nigel Henbest: Universet. En reise gjennom rom og tid. Grøndal Dreyer, 1993 (80 sider), kr. 298.

Stimulering til astronomi-interesse

Det skrives mange bøker for barn og ungdom i vårt land. Men det er ikke mange av disse som tar sikte på å vekke interessen for naturvitenskap. Men forlaget Grøndahl Dreyer har nå fått oversatt praktverket "Universet. En reise gjennom rom og tid," av den engelske vitenskapsskribenten Nigel Henbest, til norsk. For astronomi-faget mener jeg dette må være en særs velsmakende appetittvekker.

Språket er lett og flytende, og det er ingen ting å utsette på oversettelsen til Egil Alnæs. De digre tegningene likner meget på fotografier og er utført med den mest moderne datateknikk. Riktignok ville jeg foretrukket virkelige fotografier av de astronomiske objekter som teleskoper og romsonder har gitt oss mulighet til å betrakte. Det gjelder for eksempel de ytterste planetene og deres måner, og forskjellige typer stjerner og galakser. En blanding av tegninger og fotografier ville altså vært enda bedre.

Boken starter så langt unna i tid og rom som bare mulig. Den begynner med det mystiske ursmellet da både tid, rom og materie ble til. Her synes jeg nok Nigel Henbest kunne gitt oss en mer detaljert skildring av de første minuttene av universets historie.

Til gjengjeld får vi vite svært mye om stjernetåker og disse galaksenes utvikling. Deretter forteller Henbest om stjerners fødsel, liv og død. Nå er det jo på mote med ressurs-sparing og gjenbruk. Da er det jo artig å få vite at heller ikke Melkeveien sløser med det stoffet som stjerner lages av. Når en stjerne dør, skjer dette ved en voldsom eksplosjon der en stor mengde av stjernematerialet blir slynget ut i verdensrommet. I neste omgang danner disse stjernerestene nye stjerner. Sådan er vi alle barn av stjernene, for de fleste grunnstoffene i kroppen vår stammer fra prosesser i stjernenes hete indre eller fra selve stjerneeksplosjonen.

Henbest forteller også om en klasse stjerner som er så lyssvake at vi ennå ikke har observert en slik stjerne med sikkerhet. Det gjelder de såkalte brune dvergstjerner. En slik brun dverg har liten masse. De inneholder bare mellom 0,08 solmasser og 0,01 solmasser. Men det er *ikke* riktig at en slik brun dverg bare frigjør energi ved å trekke seg langsomt sammen. Henbest påstår at det ikke foregår kjernereaksjoner i en slik brun dverg. Men det vil være varmt nok til at tungtvanns-kjerner smelter sammen med hydrogenkjerner og danner en lett variant av helium. Den prosessen varer i omtrent 10 millioner år, men *det* er bare et øyeblikk i astronomisk sammenheng.

Så nærmer Henbest seg våre kjente omgivelser i solsystemet. Han forteller meget levende om hver enkelt planet. Her vil det nok være nytt for mange at den planeten som nå er lengst fra solen ikke er Pluto, men havgudens planet, Neptun. Banen til Pluto er altså såpass langstrakt og skeiv at den somme tider går innenfor Neptuns bane.

Mange vil nok også bli overrasket når de får vite at den største månen i solsystemet, nemlig Ganymede, tilhørende Jupiter, faktisk er større enn planeten Merkur. Voyager-sonden har også avslørt at alle de fire kjempeplanetene omgir seg med mer eller mindre fullstendige ringer. Før kjente en jo bare til ringene rundt Saturn. Da trodde en at ringene ble til når en måne forvillet seg innenfor den såkalte Roche-grensen. Da vil tidevannskreftene overvinne de kreftene som "kitter" en planet sammen. Dermed ville så en måne som kom for nær sin moderplanet gå i oppløsning. Men i dag mener astronomene at ringene blir til når små måner blir pulverisert ved sammenstøt med omstreifende kometer.

Henbest viser også at planeten Mars kan tjene som et skrekkens eksempel på hva en atomkrig med påfølgende kjernefysisk vinter kan føre til. Mars er muligens blitt nedkjølt da gigantiske støvstormer skygget for sollyset. Men er det for kaldt på Mars til å være trivelig, kan en vel dra til Venus, selve kjærlighetsgudinnens planet? Der rår det dessverre lite paradisiske tilstander. Temperaturen er så høy at bly smelter; trykket fra den kvelende karbondioksidatmosfæren er på hele 100 atmosfærer, og fra skyene regner det etsende svovelsyre. Det er mørkt som i en sekk, for ikke noe lys trenger ned til overflaten. Her ligger altså selve helvetet. Dette skyldes at drivhuseffekten en gang fikk overtaket og forvandlet en innbydende planet med blå himmel og bølgende hav. Det er altså all mulig grunn til å ta vårt jordiske forurensingsproblem temmelig alvorlig.

Til slutt skildrer Henbest hva som vil skje "når sola itte lenger har øss å skinne på." For når solen dør, vil den svulme opp og sluke de tre innerste planetene. Da bør nok en eventuell menneskeliknende rase ha funnet seg nye jaktmarker mellom stjernene.

Men ennå vet ikke astronomene om selve universet vil utvide seg i all evighet, eller om det i en fjern framtid vil stoppe opp og trekke seg sammen igjen. Her påstår Henbest faktisk at de åpne universmodeller som utvider seg for alltid, ikke tar hensyn til gravitasjonen. Men denne påstanden er helt uholdbar. Disse modellene er en helt brukbar løsning av Einsteins gravita-

sjonslikninger.

Henbest avslører til sist at han føler seg tiltrukket av tanken om at universet skulle gjennomgå en slags evig syklus. Det skal utvide seg til maksimal størrelse, for deretter å krympe sammen til et minimum; så starter det igjen en utvidelsesfase. Men da spør jeg: Hvem trekker opp klokkene i universet ved hvert minimum? For den viktige 2. hovedsetning i varmelæren sier at alt går mot stadig større kaos og uorden. Et evig univers burde da være totalt kaotisk. Hvem gir universet ny orden hver gang universet når sin minimumstørrelse?

Men boken bør være årets julegave. Uten tvil vil den bli lest med tindrende øyne av skikkelige barn og av voksne barn – når de bare har greid å beholde en sunn og naturlig nysgjerrighet.

Henning Knutsen

∞

Stephen W. Hawking: Svarte hull og baby-universer og andre essays. Cappelen, 1993 (160 sider), kr. 279.

Det skrøpelige mennesket og det forunderlige universet

Den engelske fysiker Stephen Hawking er utvilsomt vår tids mest legendariske vitenskapsmann. Han lider av ALS (amyotrofisk lateral sklerose). Det er en sjelden muskel- og nervesykdom som langsomt ødelegger kroppen. Hawking kan ikke bevege seg og har mistet tale-evnen. Men til tross for sitt fysiske handikap er han en av verdens fremste forskere på området gravitasjonsteori og kvantemekanikk. Denne krøplingen gir ikke opp i mismot og depresjon, men behersker sin psyke i en slik grad at han snur opp ned på tilvante forestillinger. Han har derfor mye interessant å fortelle, både fra sitt eget private liv og fra sitt arbeid med fysikken.

Cappelen forlag skal derfor berømmes for at de har fått utgitt den siste boken til Hawking samtidig med den engelske utgaven. Det representerer viktig kulturspredning. Boken bærer den besynderlige tittel "Svarte hull og baby-universer og andre essays". Det er altså en samling av ymse artikler om forskjellige emner som Hawking har skrevet i løpet av sin karriere.

Allerede i det første essayet blir vi bedre kjent med mennesket Stephen Hawking. Han ble født under krigen, og faren var en noe eksentrisk forsker med tropiske sykdommer som spesialfelt. Stephen likte modelltog og bygget dem selv. Han var flink på skolen, og tok fatt på fysikk-studier ved Oxford. Endelig flyttet han over til Cambridge for å ta fatt på et doktorgradsstudium. Men her meldte da sykdommen seg. Han forteller at han først ble svært deprimert, men fikk nytt livsmot da han ble forlovet med den kvinnen som senere ble hans hustru, og som han fikk tre barn med. En av hans nærmeste studiekamerater fra denne tiden er jeg forresten selv blitt godt kjent med. Etter en gjesteforelesning jeg holdt ved universitetet i Pretoria, var Jerry Lemmer min vert ved en bedre middag. Lemmer er nå matematikk-professor. Han fortalte meg at under studietiden, da Hawking stadig fikk vanskeligere for å bevege seg i trapper, tok den råsterke Lemmer Hawking på ryggen opp til høyere etasjer.

I et essay funderer Hawking over hvorfor den forrige boken hans, "Univers uten grenser", ble en alle tiders bestseller. Det finnes unektelig mange populærvitenskapelige bøker som ikke står tilbake for Hawkings sin bok når det gjelder kvalitet. Men Hawking representerer jo nettopp journalistenes yndlingsobjekt. Han er en sensasjon og en raritet. Han er mennesket uten fysiske krefter som likevel fravrister selve universet dets uløste gåter. For lekfolk vil derfor Hawking bety noe mystisk og verdensfjernt. Da er det kanskje ikke så rart at de kjøper boken hans. Eventyret om Askeladden lokker.

Men boken inneholder også flere essays som virkelig er ypperlig populærvitenskap. Her finner vi den artikkelen Hawking skrev om kvantemekanikken for svarte hull. Der koplet han gravitasjonsteori, varmelære og atomfysikk, og fant ut at svarte hull faktisk sender ut varmestråling. Dette representerer muligens det mest sensasjonelle Hawking har gjort. Alle mente jo at svarte hull var fullkomne 'sluk' som ingenting kunne slippe bort fra. Men Hawking viste at svarte hull langsomt 'fordamper'.

I en annen artikkel hevder Hawking at teoretisk fysikk på sett og vis muligens vil være avsluttet om noen få ti-år. Han mener at forskerne da faktisk vil finne de mest fundamentale fysiske lover, og dermed bli arbeidsledige. Riktignok innrømmer han at en kanskje bare kan løse disse fundamental-likningene nøyaktig for svært enkle problemstillinger, så regnemaskinene må overta for matematikerne. Hawking påstår at vi allerede i dag kjenner de mest grunnleggende lovene som styrer kjemi og biologi. Derfor burde en prinsipielt kunne forstå hvordan den menneskelige hjernen ter seg. Jeg undres da på når fysikken vil forklare meg noe så hverdagslig, men irrasjonelt som en skikkelig forelskelse. Er gjenstanden for vår kjærlighet bare en kvantemekanisk tilfeldighet? I alle fall er jeg ikke enig med Hawking når han sier at vi vil bli universets herrer når vi har en komplett teori for universet. Den som ligger på glattisen med brukken

lårhals er ille ute, selv om han behersker gravitasjonslov og faststoff-fysikk.

Jeg synes heller ikke Hawking greier å få fram særlig tydelig hva han mener med imaginær tid. Det blir jo ikke lettere å forstå dette tidsbegrepet selv om en får vite at denne tidsaksen står vinkelrett på vår vanlige tidsakse. Det er vanskelig å fatte at selve det mystiske ursmellet da rom, tid og materie med deres lovmessige oppførsel ble til, skulle være like lett å behandle som vårt vilkårlige valg av nordpolspunkt på jordkloden. Derfor forundres jeg også når Hawking forteller at tiden kan gå med forskjellig hastighet. Urviseren på en klokke kan vel ha ujamn fart i sin gange, men ikke tiden som den måler. For det er jo ved denne posisjonsforandringen vi definerer og måler denne ensrettede utvikling vi kaller tid.

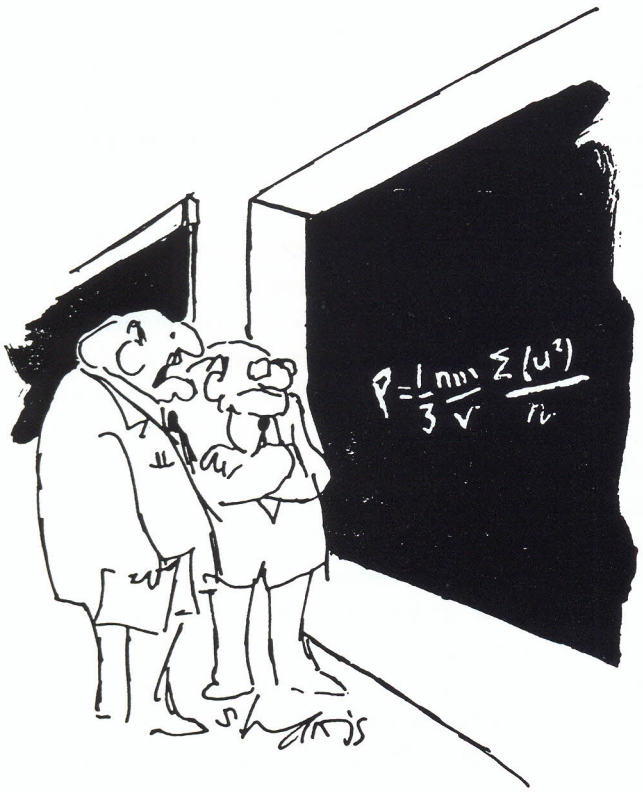


Fig.1. "What's most depressing is the realization that everything we believe will be disproved in a few years."

Oversettelsen er stort sett grei, men jeg liker ikke begrepet "surface gravity" som betegner styrken av gravitasjonsfeltet ved horisonten av et svart hull. Ordet angulærmoment smaker også for mye av engelsk. Det norske ordet 'spinn' gir en mye bedre intuitiv forståelse av hva som ligger i begrepet. På side 96 finnes det også en solid skivebom. Det er hydrogen som omdannes til helium i stjernenes indre, ikke oksygen. Den gale vitenskapsmannen var heller ikke opptatt med å lage et monster som het Frankenstein. Det var navnet på den uansvarlige vitenskapsmannen selv.

Men i alle fall er disse essayene et spennende og sprudlende møte med Stephen Hawking. Han viser at han er et levende menneske med følelser, og ikke noen iskald regnemaskin. Jeg vil alltid minnes hans lystige framtoning ved festmiddagen under den store verdenskonferansen i relativistisk astrofysikk i San Francisco i desember 1992. Tilstelningen ble kombinert med båttur på bukta. Da var det musikk og dans etter middagen. Men dansegulvet ble et farlig område å ferdes på. For den som var totalt bevegelseshemmet og skulle følge dansen fra sidelinjen i en rullestol, lot seg ikke hemme av et slikt handikap. Rullestolbrukeren kjørte opp og ned over dansegulvet i lystig takt til tonene fra det glade orkester.

Henning Knutsen

∞

Nye Doktorer

Jakob Gakkestad

Jakob Gakkestad disputerte for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo, den 21. desember 1993. Avhandlingen har tittelen *Integrated CMOS Circuits for Piezoresistive Pressure Sensors with Emphasis on Thermal Sensitivity Shift Compensation.* Den er fokusert på utvikling av metodikk som sikrer god kompensering av målefeil pga. endringer i operasjonstemperatur, for elektroniske trykkmålere fremstilt i silisium med motstandsendring som funksjon av måletrykk som sensorprinsipp. Denne kompensering er også demonstrert i form av en spesialkonstruert integrert krets som utgjør en del av den signalbehandlings-elektronikken som er påkrevet for å benytte slike sensorer i et trykkmålesystem.

Gakkestad har utført sitt arbeid ved Avdeling for elektronikk på Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo, i samarbeid med Chalmers Tekniska Högskola i Gøteborg og SINTEF SI i Oslo. Han påbegynte sitt studium og arbeid med avhandlingen i september 1988, og arbeidet ble avsluttet i november 1993.

Motivasjonen for dette arbeidet er på den tekniske siden at slike trykkmålere i dag kan fremstilles med både en trykkfølsom membran og målemotstander integrert på samme silisiumbrikke. Denne fremstillingsteknikken kalles silisium mikromekanikk, og har

mange likhetstrekk med teknikker for fremstilling av integrerte kretser. Dette gir trykkmålere med høy ytelse til lav pris. Markedssuget etter slike trykkmålere er meget stort, både fra store volumer til lav pris for bilindustrien, og til mer spesielle formål i mindre antall, f.eks. innen offshore-instrumentering. En svakhet ved dette trykkmålerprinsippet er dog en relativ høy uønsket følsomhetsendring ved temperaturforandringer.

Arbeidet har inkludert karakterisering av en slik temperatureffekt i to forskjellige kommersielle silisium trykkmålere, utvikling av algoritmer for temperaturkompensering og praktisk realisering av denne metodikk i en integrert krets. Resultatene viser at denne uønskete temperatureffekten kan reduseres til under en tiendedel av ukompensert verdi. Dette resultatet har et godt potensial for industriell utnyttelse ved at slike trykkmålere får øket konkurransekraft på det internasjonale marked.

Ann Rigmor Nerheim

Sivilingeniør Ann Rigmor Nerheim fra Vestnes i Møre og Romsdal, har tatt doktor ingeniør-graden ved Norges tekniske høgskole med avhandlingen *Studier av dannelseskinetikken til gasshydrat ved hjelp av lysspredning*

Avhandlingen beskriver eksperimentelle studier av naturgasshydrat, som er et krystallinsk materiale bestående av vann og lette hydrokarboner. Siden de ved gitte trykk kan være stabile på temperaturer over smeltepunktet for is, kan gasshydrater være et problem i oljeindustrien. I flere tilfeller har de ført til blokkering av flerfase transportrørledninger og prosesseringsutstyr.

I doktorgradsarbeidet har Nerheim målt den kritiske størrelsen til hydratkim, dvs. hvor store kimene (partiklene) må være for at makroskopisk krystallvekst skal kunne starte. Metoden som er brukt er en lysspredningsmetode, og arbeidet representerer de første eksperimentelle målinger som er gjort av den kritiske størrelsen til hydratkim. Forsøkene indikerer en sammenheng mellom temperatur og induksjonstid, som er tiden det tar fra et system går inn i hydratområdet og til de første partiklene dannes.

For å hindre dannelsen av hydratplugger, tilsettes inhibitorer, og her er det av økonomiske og miljømessige hensyn ønskelig med nye typer som er effektive i lavere konsentrasjoner. Disse kjemikaliene kalles kinetiske inhibitorer, og skal de bli gode, er det nødvendig med en bedre forståelse av de tidlige faser av selve hydrat-dannelsesprosessen. Den kritiske størrelsen på hydratkimene er her et sentralt begrep. Dette er også en viktig parameter i simuleringsprogrammene som benyttes når en skal beregne ved hvilken temperatur eller ved hvilket trykk det er fare for å danne hydrater i en rørledning.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTH, mens den praktiske del er utført ved RF-Rogalandsforskning. Ann Rigmor Nerheim ble utdannet ved Fakultet for fysikk og matematikk i 1989. Hun har siden da vært ansatt i RF som forsker, og fra 1992 som fagleder for gruppen for gass og hydratteknologi.

∞

Trim i FFV

FFVT 1/94

En vannspreder gir pr. tids- og flate-enhet $f(r)$ liter vann på bakken i avstanden r. Når sprederen beveger seg rettlinjet og med konstant hastighet væter den en stripe med bredde $2R$ jevnt. Hva er $f(r)/f(0)$?

Løsning FFVT 4/93

a) Problemet dreide seg om et spill der den som først vinner 6 runder får hele premien kr. 8000, mer presist om en rettferdig deling av premien ved et avbrutt spill mellom A og B etter at A har vunnet 5 og B 3 runder.

Det er rimelig at fordelingen baseres på vinnsannsynlighetene for de to spillerne. La oss hypotetisk tenke oss at det kunne spilles 3 ekstra runder. Av de

$2^3 = 8$ mulige (og like sannsynlige) utfall er det bare 1 som gir B gevinsten. Altså bør B få én åttedel, kr. 1000, og A sju åttedeler, kr. 7000.

Kommentar: Dette er et klassisk problem av arabisk opprinnelse, først publisert i 1494 i Venezia av Luca Paccioli, en venn av Leonardo da Vinci. Det ble korrekt løst først 160 år senere av Pascal og Fermat i "sannsynlighetsteoriens fødselsår" 1654.

b) I problemet ble de to siste siffer i summen

$$S = 1! + 2! + 3! + ... + 1993!$$

etterlyst.

Først bemerker vi at 10! (og dermed alle senere ledd) ender med to nuller fordi produktet inneholder to 5-tall og mer enn to 2-tall. Det er derfor tilstrekkelig å se på de første ni ledd (bare de to siste siffer tatt med),

$$1 + 2 + 6 + 24 + 20 + 20 + 40 + 20 + 80,$$

som gir at summen S ender på 13.

∞

Hva skjer

Rondablikkseminaret 1994

Rondablikkseminaret i kondenserte fasers fysikk og kjemi vil bli holdt på Rondablikk Høyfjellshotell, 2650 Kvam, 15–18. september. For å dekke de forskjellige nasjonale interessene innen de ulike fagfelt, har styret i gruppen invitert følgende forelesere:

Tormod Riste:	*Opening*
Raymond Chiao:	*Anyon*
A.M. Glazer:	*Optical materials*
Hans Herrmann:	*Granular Materials*
Yu-Kuang Hu:	*Transport*
Reinhardt Lipawsky:	*Polymer*
David G. Pettifor:	*Electron theory*
Lu Sham:	*Semiconductors*
Thomas Vogt:	*Neutron scattering*

I tillegg kommer IBM prisforedrag, korte innlegg og postere.

Seminar i Petroleumsfysikk

Petroleumsgruppa i NFS arrangerer et seminar på Strand Hotell, Fevik (ved Arendal), 19–21. august i år. Inviterte foredrag vil blant annet bli holdt innen emnene "Mekanikk i porøse media" og "Strømning i porøse media". I tillegg vil det bli korte innlegg fra deltakere og eventuelt en posterseksjon.

For begge seminarene gjelder følgende:

- Det er avsatt stipendmidler for hovedfags-diplom- og dr.ing.-studenter.
- Mer detaljerte opplysninger vil bli sendt ut senere.
- Spørsmål og påmelding til NFS' sekretær, Gerd Jarrett. Adresse på bladets bakside.

Biofysikkmøte 17.–19. mars 1994

Norske biofysikere samles igjen på Kongsvold Fjeldstue for å utveksle erfaringer, synspunkter og forskningsresultater, og for å pleie vennskap og knytte nye kontakter. Møtet er åpent for studenter, lærere og forskere som selv jobber med biofysikk eller som har interesse for fagfeltet. I tillegg til biofysikernes egne presentasjoner (foredrag eller poster) blir det noen få inviterte foredrag, blant annet om forskningsrådets nye praksis ved bevilgninger. Vi forsøker også å få til foredrag om "Kan genteknologi gi nye perspektiver til biofysikk", "Risikobegrepet" og "Matematisk modellering innen biofysikk". En formiddag er avsatt til skiturer (meget nær Dovre Nasjonalpark og moskus).

Deltakerne betaler ca. kr 1400 (studenter og lærere kr 1200) for møtet, inkludert kost og losji. Reise kommer i tillegg, men det kan tilbys grupperabatt på tog.

Påmelding kan skje til Arnt Inge Vistnes, tel. 22 85 56 46, fax 22 85 56 71, E-mail: a.i.vistnes@fys.uio.no, eller til Terje Christensen, Arne Skretting eller Berit Kjeldstad. Påmelding snarest og senest 1. mars 1994.

∞

Nytt fra NFS

FYSIKERMØTET 1994

Fysikermøtet finner i år sted i Bergen, i tiden 20.–22. juni, altså umiddelbart før St. Hans. Et foreløpig

program for møtet finnes på side 30 i dette nummer av FFV, sammen med påmeldingsskjema.

Fysikermøtet blir avviklet i lokalene til Fysisk institutt, Allégaten 55 på Nygårdshøyden.

I det faglige programmet for Fysikermøtet er det lagt opp til en belysning av forholdet mellom grunnleggende og anvendt forskning, og universitetets rolle og tilpasning til samfunnets behov. Som hovedforedragsholder den første dagen har vi vært så heldige å få professor D.A. Bromley fra Yale, som var vitenskapelig rådgiver for tidligere president Bush. Videre blir det foredrag om eksotiske atomer og atomkjerner.

Det som skal belyses spesielt denne gang, er plasmafysikk og norsk romfysikk. Professor L. Shohet fra University of Wisconsin, vil beskrive nye metoder for overflatebehandling med plasmaprosesser.

Vi har også stilt spørsmålet om magnetfelt er farlige, og håper det vil være blikkfang for media som for tiden er opptatt av kraftlinjer og høyspenning.

Det vil bli arrangert et bedriftsbesøk hos Ulstein Bergen på Hordvikneset, som er kjent for sin suksess med moderne produksjon av gassmotorer.

Festmiddagen, som i år vil bli i form av et gedigent koldtbord, blir avholdt i de tradisjonsrike Schøtstuene på Bryggen.

Bergen kan vanligvis vise til gode værforhold på denne tiden av året, og vil uansett kunne by på mange muligheter for kulturelle og sosiale innslag utenom programmet for Fysikermøtet.

Hilsen arrangementskomitéen

Reisestipend til Fysikermøtet 1994 for lærere og hovedfagsstudenter

Styret i NFS har som tidligere bevilget penger til reisestipend for lærere i skoleverket og hovedfagsstudenter som ønsker å delta på Fysikermøtet i Bergen i juni 1994. De som mottar stipend slipper å betale registreringsavgift. Søknad sendes til styret ved Gerd Jarrett. Se adresse på bladets bakside.

ÅRSMØTET 1994

Norsk Fysisk Selskap innkaller herved til årsmøte på Fysisk institutt, Universitetet i Bergen, onsdag 22. juni kl. 10.15. Saker som ønskes tatt opp under møtet må være innsendt til styret senest 3 uker før.

Sakliste:

1. Godkjenning av innkalling og sakliste
2. Referat fra årsmøtet 1993 (se FFV nr. 4 1993)
3. Årsmelding
4. Norsk Fysikkråd
5. Regnskap for NFS og FFV
6. Budsjett for 1994 og 1995 for NFS og FFV
7. Valg:
   a) president
   b) 1 styremedlem
   c) 1 varamedlem
   d) revisorer
   e) valgkomité
8. Fysikermøtet 1995
9. Eventuelt

Februar 1994
Styret

Nye medlemmer tatt opp 28. februar 1994:

Student Frank-Martin Hansen
Rønningsvegen 10
7045 Trondheim

Professor Jens M. Hovem
Institutt for teleteknikk / akustikk
7034 Trondehim-NTH

Produktlinjesjef Odd Klokseth
KPT
Bedriftsveien 10
6500 Farsund

Professor Hans Siedentorp
Matematisk institutt
Boks 1053 Blindern
0316 Oslo 3

Cand.real. Per Jan Skjegstad
Sjøkrigsskolen
Postboks 25
5034 Ytre Laksevåg

Student Øyvind Tafjord
Institutt for fysikk
NTH
7034 Trondheim

∞

Foreløpig program for Fysikermøtet i Bergen 20. - 22. juni 1994

Fysisk institutt, Allégaten 55 på Nygårdshøyden

	Mandag 20. juni	**Tirsdag 21. juni**	**Onsdag 22. juni**
09.15		B. Jonson (Göteborg): "Exotic edge of nuclear darkness"	A. I. Vistnes (UiO): "Er magnetfelt farlige?"
10.00	Registrering	J. Briggs (Freiburg)*: "Exotics of atoms"	
10.15			Årsmøte i Norsk Fysisk Selskap
10.45		Pause	
11.00	Åpning	R. Lundin (Kiruna): "Perspectives of space plasma physics"	
11.15	D. A. Bromley (Yale): "Interplay between basic and applied science"		
11.45		Lunch (Kantinen, Realfagbygget)	
12.00			
12.15	Lunch (Kantinen, Realfagbygget)		Lunch (Kantinen, Realfagbygget)
12.45		K. Svenes (FFI): "Norsk småsatellitt - NISSE"	
13.00		Presentasjon ved faggruppen for romfysikk	
13.15	R. Kuvås (NFR): "Industrial spin-off from basic science"		Prisvinnerforedrag IBM-prisen
13.45	C. Rønnevig (NFR): "The CERN lesson on transfer of technology and competence"		Påmeldte foredrag
14.00		Pause	
14.15	Pause	Presentasjon ved faggruppen for plasmafysikk	
14.30	E. A. Hammer (UiB): "From university to industry and market"		
14.45			Pause
15.00	A. Godal (Prototech): "Academia and small companies"		Påmeldte foredrag
15.15		Møter i faggruppene	
15.30	Pause		
15.45	Paneldebatt: "Hvordan vil samfunnet kunne bruke fysikere"		
16.00			Pause
16.15		Pause	L. Shohet (Wisconsin) "Plasma-aided manufacturing"
16.30		Bedriftsbesøk hos Ulstein Bergen A.S. på Hordvikneset (til kl. 19.30)	
17.00			Avslutning
18.00			
19.00	Festmiddag (koldtbord) Schøtstuene (til kl. 24.00)		

* Vil bli endelig avklart senere

PÅMELDING TIL

FYSIKERMØTET I BERGEN mandag 20. - onsdag 22. juni 1994

Navn: ..... Telefon: .....

Adresse: ..... Telefax: .....

..... E-mail: .....

..... Signatur: .....

Jeg melder på .... personer til **bedriftsbesøk** hos Ulstein Bergen A.S. 21. juni
(Kr. 100,- pr. person inkl. enkel servering)

Jeg melder på .... personer til **festmiddag** (koldtbord) på Schøtstuene 20. juni
(Kr. 350,- pr. person)

Jeg ønsker å presentere et kort **foredrag** (maksimalt 15 minutter):

Tittel: .....

.....

Jeg vil eventuelt være interessert i å presentere dette som poster ☐ Ja ☐ Nei

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

☐ 19-20/6 ☐ 20-21/6 ☐ 21-22/6 ☐ 22-23/6

Hotellalternativer (nummerér rutene etter prioritering):

Rica Travel Hotel	☐ Enkeltrom, kr. 595,-	☐ Dobbeltrom, kr. 745,-
Hotell Augustin:	☐ Enkeltrom, kr. 495,-	☐ Dobbeltrom, kr. 890,-
	☐ Enkeltrom, kr. 625,-	☐ Dobbeltrom, kr. 990,-
Fantoft Sommerhotell	☐ Enkeltrom, kr. 400,-	☐ Dobbeltrom, kr. 580,-
	☐ Leilighet (to dobbeltrom) kr. 720,-	

Alle prisene er pr. rom/leilighet, pr. natt og inkludert frokost. Rica Travel Hotel og Hotell Augustin ligger i Bergen sentrum, Fantoft Sommerhotell ligger 5 km sør for sentrum, men med gode bussforbindelser (bill. kr. 13,-).

Konferanseavgift: Kr. 500,- ved registrering før 1/5, kr. 600,- etter 1/5
Gratis for lektorer (i den videregående skole) og studenter*
(Avgiften betales ved fremmøte og inkluderer forfriskninger)

Påmelding innen 1. mai (eller snarest mulig hvis innkvartering er nødvendig) til:

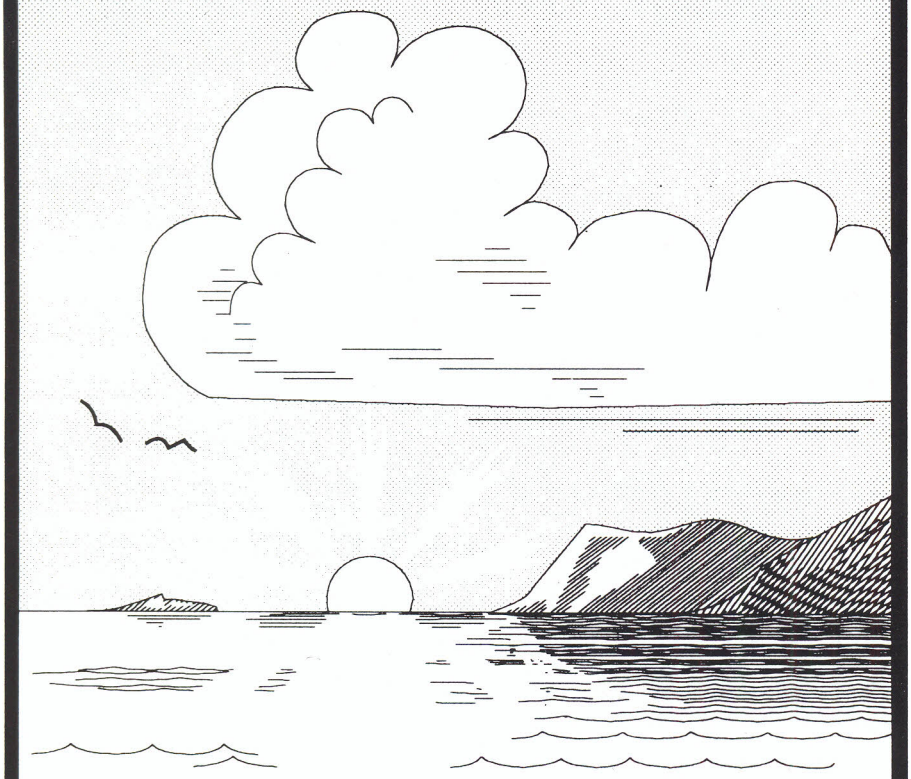
"Fysikermøtet '94", Fysisk institutt, Allégt. 55, 5007 Bergen

Eventuelle spørsmål om arrangementet kan rettes telefon 55 21 28 06.

---

* Studenter kan søke om reisestipend fra Norsk Fysisk Selskap

VÆR – KLIMA – MILJØ



Vi utvikler instrumenter for oseanografi og meteorologi fra scratch til avanserte produkter for et internasjonalt marked. Vi krever allsidige ingeniører.

AANDERAA INSTRUMENTS

FANAVEIEN 13B,
5051 BERGEN, NORWAY.
TEL. 05 132500, TLX 40049
TELEFAX + 05 137950

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

President:
Professor Thormod Henriksen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Visepresident:
Professor Egil Leer,
Institutt for teoretisk astrofysikk,
Universitetet i Oslo.

Styremedlemmer:
Stipendiat Leni Grant,
Nordlysobservatoriet,
Universitetet i Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Professor Erlend Østgaard,
Fysisk institutt, AVH,
Universitetet i Trondheim.

Selskapets sekretær:
Gerd Jarrett,
Fysikkavdelingen, Institutt for energiteknikk, Boks 40, 2007 Kjeller.
Tlf.: 63 80 60 75 Fax.: 63 81 09 20
Email: gerd@ife.no
Postgirokonto: 5 88 38 89.
Bankgirokonto: 5102.42.00012.

Fra Fysikkens Verden

Redaktører:
Professor Øivin Holter,
Professor Finn Ingebretsen,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.
Redaksjonssekretær:
Avd.ing. Karl Måseide,
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Redaksjonskomité:
Professor Noralv Bjørnå,
Institutt for matematiske realfag,
Universitetet i Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup,
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer,
Fysisk institutt, NTH,
Universitetet i Trondheim.
Professor Egil Leer,
Institutt for teoretisk astrofysikk,
Universitetet i 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
Email:
oivin.holter@fys.uio.no
finn.ingebretsen@fys.uio.no
karl.maseide@fys.uio.no

Fra Fysikkens Verden utkommer fire ganger årlig. Abonnement kan tegnes direkte fra ekspedisjonen. Årsabonnement kr. 100,–. Studenter og skoleelever kr. 50,–. Løssalg kr. 30.– pr. nummer.

Postgirokonto: 0807 5 10 47 24
Bankgirokonto: 6094.05.40227