Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 1999
61. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Arnt Inge Vistnes:
Elektromagnetisme og helse . . 42
Thormod Henriksen:
Stråling og risiko 48
Arne Pedersen:
Mot Saturn og Titan. 53
Fra Redaktørene 38
Gjest i FFV 38
Steinar Stapnes
FFV Gratulerer 39
Jan S. Vaagen
Asle Sudbø og Anh Kiet Nguyen
Frank Melandsø
In Memoriam 40
Bjørn Håvard Wiik
Fysikknytt 57
Dansk satellit i rummet
Fysikk i skolen 58
Science-sentre og rekruttering
Bokomtaler 59
Nye Doktorer 62
Dr.scient. Lisbeth Bergholt
Dr.scient. Stein Egil Håland
Dr.scient. Ole Martin Løvvik
Dr.philos. Barbra B. Noodt
Dr.scient. Øyvind Overrein
Dr.scient. Ole Myren Røhne
Dr.scient. Elin Steinsland
Dr.scient. Thomas Walmann
Dr.scient. Øivind Wikstøl
Trim i FFV 66
Hva skjer. 67
Rondablikk-seminaret 1999
Solformørkelse i Norge

Måling av elektrisk felt nær kraftledning
(se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Vi håper at diskusjonen om Fysikk i skolen i FFVs spalter skal fortsette å engasjere så mange som mulig av våre lesere – det er nettopp FFVs lesere som burde ha de beste forutsetninger for å kunne uttale seg om dette emnet.

Vi har også ofte lurt på hvorfor interessen for de "harde" realfagene har gått tilbake siden vi selv var unge. Vi i "50-tallsgenerasjonen" surfet inn til realfagene på en bølge av bred entusiasme. Og siden homo sapiens neppe har gjennomgått noen nylig genetisk forandring, er det betimelig å spørre hva som egentlig har skjedd siden den gang. Kanskje var mer av vår naturlige barnslige nysgjerrighet intakt – hvem vet? Men ser vi oss om, er det lite som tyder på at barns nysgjerrighet er mindre nå enn tidligere, en nysgjerrighet som fortsatt er til stede ganske høyt oppe på klassetrinnene. Fra tid til annen har vi selv besøkt klasser i barneskolen, eller hatt besøk av skoleklasser, der vi har gitt fysikktimer med demonstrasjoner av mange slag. Interessen og konsentrasjonen blant elevene er ikke mindre enn imponerende – spørsmål og nyfikenhet røper ekte engasjement.

Her er det for øvrig på sin plass å gi den største heder og ære til Otto Øgrim og hans medarbeidere, først Helmut Ormestad og deretter Svenn L. Andersen. De har, med en enestående pedagogisk teft, forsynt oss med bøker og andre nyttige hjelpemidler for demonstrasjoner og forsøk for disse alderstrinn.

Dersom du ikke allerede har gjort det – og dersom du har sansen for barn – bør du virkelig unne deg gleden av å holde en fysikktime i barneskolen. Hvem vet, kanskje det er det viktigste frøet du kan så for fagets fremtidige vekst. Og hjelpen, den kan du enkelt og greit hente fra Øgrim og Andersens web-side: http://www.fys.uio.no/roterom/

Men desverre, på et eller annet tidspunkt etter 12–årsalderen skjer det noe; i den videregående skole velges de "harde" realfagene bort, og hos studentene går den eventuelle interessen i ganske andre "myke" retninger. Så vi spør: Hvor glipper det i oppfølgingen av den opprinnelige nysgjerrighet og entusiasme, og hva kan vi bidra med for at den i størst mulig grad skal forbli intakt?

∞

Gjest i FFV

Presidenten har ordet

Som påtroppende president i Norsk Fysisk Selskap er det naturlig å bruke litt tid på å vurdere tilstanden i norsk fysikk. Blant norske fysikere er det sprikende meninger om både hovedproblemer og om mulige løsninger. Som fagfolk vil vi ha størst gjennomslag hvis vi enes om målene, og i noen sentrale saker tror jeg faktisk norske fysikere er noenlunde enige både om problemstillinger og om løsninger. La meg trekke fram to viktige områder der vi har store muligheter og utfordringer de neste to årene.

Rekruttering og utdanning

Norsk fysikk har et rekrutteringsproblem. Det gjelder naturvitenskap og teknologi generelt, og er meget uheldig og underlig siden det faller sammen med stadig større behov for denne type kunnskap i vårt samfunn. I denne problemstillingen inngår antall elever som tar 3FY i videregående skole, antall studenter som går videre med fysikkfordypning på våre universiteter og aldersprofilen for fysikklærerne i videregående skole sett i sammenheng med antall nye fysikklærere som utdannes.

Antall elever som studerer 3FY har tatt seg noe opp etter at man begynte å gi ekstrapoeng ved opptak til universiteter og høyskoler for fordypning i naturfag i den videregående skole. I dag tar ca. 4000 elever 3FY årlig (7–8 %). Dette er fremdeles i internasjonal målestokk en liten prosentdel.

Det er fremdeles et problem at elevene vet at om de velger fysikk og matematikk så blir karakterene ofte svakere enn om de valgte andre fag. For rekruttering til fysikk et dette ikke et godt signal å gi, og jeg er nå 20 år etter min artium villig til la neste generasjons fysikkelever få gode karakterer lettere enn i min tid, uten at man dermed bør senke standarden på undervisningen.

Med en flat lønnsstruktur i skoleverket vil det alltid være mangel på lærere i de fagfelt som formidler den kunnskap som er mest etterspurt i arbeidsmarkedet. Jeg har vanskelig for å forstå hvordan man kan forsvare dette som god utdanningspolitikk, men så er jeg heller ikke politiker eller fagforeningsmann. Når en etter hovedfag har valget mellom enda ett år med studiegjeld for en pedagogisk utdannelse etterfulgt av en dårlig begynner-

lønn som fysikklærer, og en mye bedre betalt jobb i næringslivet, så er valget dessverre opplagt for de aller fleste.

Av de 4000 elevene som tar 3 FY er det i tillegg for få som søker til universitetene for å bli fysikere. Klarer ikke vi, næringslivet og samfunnet generelt å formidle til de unge mulighetene som en utdannelse i fysikk gir for deres fremtid? Er ikke vårt studietilbud attraktivt nok? Dette er en stor utfordring for oss og noe vi faktisk kan forbedre uten at det kreves mer ressurser.

Etter- og videreutdanningsreformen er på vei innover oss, og universitetene må definere sin stilling i forhold til denne. Kontaktflaten mellom fysikere, industri og offentlige organer er allerede for liten, og vi bør kjenne vår besøkelsestid. Dette er vel en av de sjeldne gangene der næringslivet kommer direkte til universitetene istedenfor til våre mange institutter. Hva forteller vi næringslivet, kan vi tilby dem noe? Svaret er selvfølgelig ja, men det krever innsats og nytenkning fra oss.

Evalueringer av NFR og norsk fysikk

Norges forskingsråd skal evalueres i år 2000, og jeg har to ønsker for den evalueringen. Den bør på en åpen måte evaluere resultatene til det nye NFR i forhold til intensjonene og de mål man hadde med den nye strukturen, og den bør vurdere om ikke NFR bør ha en styringsform som gjør at universitetsforskerne har mye mer innflytelse over KUF-bevilgningene. Det første punktet vil nok de fleste være enige om, og man vil vel også si at resultatene så langt er meget skuffende. Det er sjelden man hører norsk forskning diskutert i dag uten at det snakkes om alvorlige problemer – det gjelder universitetssektoren, instituttsektoren og F&U i næringslivet. En evaluering kan gi nyttig informasjon om hvor det glipper. Ofte ser man problemer lettere utenfra enn innenfra.

Det andre punktet tror jeg personlig er nøkkelen til bedre norsk universitetsforskning. Det er alltid uklokt å drive forskningspolitikk basert på kortsiktige mål og på tvers av forskernes faglige prioriteringer og motivasjon, uansett hvor "relevant" man gjør innpakningen. Noe av den frustrasjonen universitetssektoren føler overfor NFR bunner i at norske universitetsforskere er så lite rådspurt og har så liten innflytelse over prioriteringene i norsk forskningspolitikk. Det virker ofte som om man glemmer at den største ressurs i norsk forskning er forskernes kunnskaper, og at forskerne må ha arbeidsforhold som gjør at denne kunnskapen kan utvikles, forbedres og deles.

Norsk fysikk skal også evalueres. La oss håpe at den tid vi legger ned på dette vil gi oss bedre arbeidsforhold for fremtiden og vil være til nytte for oss. Personlig er jeg ikke så bekymret for tilstanden i norsk fysikk som for tilstanden i Norges forskningsråd, men jeg håper begge kommer styrket ut av disse evalueringene.

Steinar Stapnes

∞

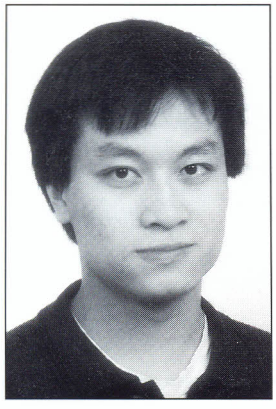
FFV Gratulerer

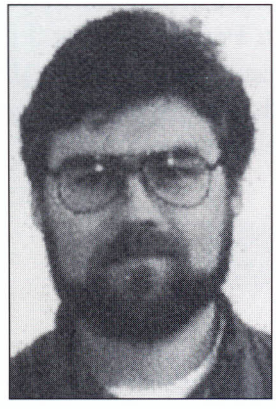
Vaagen æresprofessor i Russland

Jan S. Vaagen, professor i teoretisk kjernefysikk i Bergen, er utnevnt til æresprofessor ved Universitetet i St. Petersburg. Vaagen har siden starten for ti år siden vært koordinator og sterk pådriver i "Russisk-Nordisk-Britisk teorisamarbeid". Dette er et samarbeidsprosjekt som omfatter en rekke institusjoner, og der det er etablert en nettverkstruktur med utstrakt utveksling av vitenskapsfolk og studenter. De to nøkkelpersonene for dette samarbeidet, Jan S. Vaagen og Michael V. Zhukov fra Göteborg, mottok denne æresbevisning i forbindelse med 275-årsjubileet for Universitetet i St. Petersburg. Bildet viser Vaagen til venstre. - *Gratulerer!*

∞

Pris for forskning på superledere





Professor Asle Sudbø og doktorstudent Anh Kiet Nguyen, Institutt for fysikk, NTNU, er tildelt SINTEFs pris for fremragende forskning. Belønningen er tildelt for utvikling av ny kunnskap om superlederes magnetiske egenskaper. I begrunnelsen nevnes det spesielt at deres omfattende simuleringer har ledet til ny teoretisk forståelse, hvor sammenbruddet i flukslinjegitteret, og dermed den superledende egenskap, beskrives som en faseovergang forårsaket av termisk genererte virvelløkker (se FFV **59**, 91–99, 1997). – *Vi gratulerer!*

∞

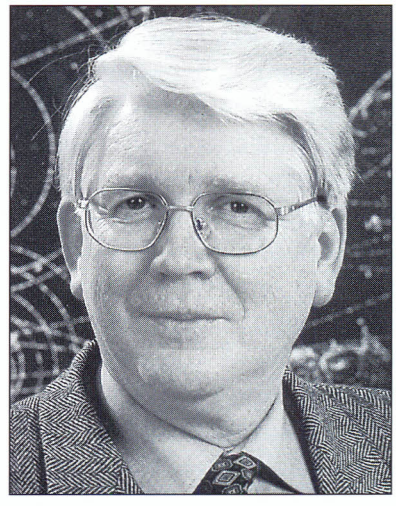
Pris for forskning på støvplasma

Førsteamanuensis Frank Melandsø, Institutt for fysikk, Universitetet i Tromsø, er tildelt A/S Norsk Varekrigsforsikringsfonds pris for yngre forskere. Melandsø har studert struktur og dynamikk til planetariske ringer, og har sammen med professor Ove Havnes, påvist teoretisk en ny type resonanser som faller godt sammen med Saturns og Jupiters ringsystemer. Videre har han påvist at forsinkelser i oppladningen av støvpartikler i en støvakustisk bølge vil resultere i en dempning av bølgen. Han har innført begrepet *ladningsfrekvens* for støvpartikler, som er blitt en fundamental parameter for støvplasma. Melandsø har i det siste arbeidet med støvplasmakrystaller, ordnede strukturer av støvpartikler, som er av viktighet i mikroelektronikkindustrien. *Vi gratulerer!*

∞

In Memoriam

Bjørn Håvard Wiik (1937–99)



Bjørn Håvard Wiik er død, etter eit uhell heime i Appel/Nordheide, 62 år gamal. Han var ein av vår tids fremste fysikarar og akseleratorbyggjarar.

Bjørn H. Wiik vart fødd på Eidslandet i Bruvik 17. februar 1937. Etter skulegang på Eidslandet kom han til Bergen der han tok artium i 1956. Som 19-åring reiste han så til Darmstadt for å studera fysikk ved det Tekniske Universitetet. I 1963 tok han diplomeksamen, og i 1965 vart han dr.rer.nat. i kjernefysikk. Han reiste same året til Stanford-universitetet i USA, og i 1968 begynte han ved SLAC, Stanford Linear Accelerator Center. Der gjekk han i gang med fine eksperiment med høgenergi fotonar og fann opp 'microtronen',

ein pre-akselerator som er brukt i mange av dagens elektronakseleratorar.

I 1972 kom Wiik attende til Tyskland, til Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY) i Hamburg. Der heldt han fram med fotoneksperimenta. Og alt då, i 1971–1972, laga han utkast til den fyrste elektron–protonkollisjonsmaskinen. Saman med kollegaer bygde han detektoren DASP for elektron–positronkollisjonar, og fann mange partiklar som vart viktige for å forstå kvarkane.

Saman med venene sine ved DESY, bygde Bjørn detektoren TASSO. Med dette instrumentet var gruppa hans den fyrste til å visa eksperimentelt eksistensen av gluonet.

I 1980 foreslo Bjørn at DESY burde byggja ein elektron–proton-kollisjonsmaskin. Dette var ein heilt ny type akselerator som ingen hadde hatt mot til å foreslå tidlegare. Dette prosjektet, HERA, vart godkjent i 1984, og Bjørn Wiik vart ein av to direktørar med ansvar for å byggja det i eit internasjonalt samarbeid med mange andre laboratorium. Maskinen var ferdig i 1991, og Bjørn hausta mykje internasjonal ros for sitt arbeid. Endåtil CERN ville hatt han som generaldirektør. Men han takka nei, for å utvikla eit nytt prosjekt ved DESY, der han vart generaldirektør i 1993.

Det nye prosjektet heiter TESLA, og det er tenkt å vera ein 30 km lang akselerator som skal liggja nordover frå Hamburg, rundt 10 meter under jorda. Dette skulle bli eit laboratorium ikkje berre for partikkelfysikk (spesielt for å studera Higgs-partikkelen), men og for overflatefysikk, biologi og medisin.

Wiik har møtt stor velvilje hjå politikarar frå alle parti i Tyskland for dette prosjektet, noko som nok heng saman med hans uvanlege menneskelege kvalitetar. Han hadde ein uvanleg integritet, var særs open, og samtidig hadde han ei fagleg tyngde som få kunne måla seg mot.

Bjørn H. Wiik vart æra på mange vis. Han var mellom anna medlem av Det Kongelige Norske Videnskabers Selskab, Norges Tekniske Vitenskapsakademi, Det Norske Videnskaps-Akademi og American Academy of Arts and Sciences. I 1997 vart han utnemnt til æresdoktor ved Universitetet i Oslo, og i 1999 vart han æresprofessor ved Institute for Nuclear Physics i Krakow.

Oppdaginga av gluonet, som er i nobelprisklassen, vart ofte nemnt. For denne oppdaginga fekk Bjørn H. Wiik Norsk Fysisk Selskaps Norsk Data Pris i 1984, og i 1995 fekk han den høgt verdsette European Physical Society-prisen. Denne prisen fekk han saman med Paul Söding, Günther Wolf og Sau Lan Wu, med EPS si formulering: "the first evidence for three-jet events in electron–positron collisions at PETRA, DESY."

Bjørn har vore med i råd og komitear her heime, både ved universiteta og i forskingsråda, i den grad tida tillet det. Hans meiningar var alltid verdifulle. Rett før sin bortgang vart han valt til formann i International Committee for Future Accelerators.

I 1981 vart Bjørn H. Wiik professor ved Universitetet i Hamburg. Universitetet i Bergen hadde gleda av å ha han tilsett som professor II frå 1979. Hans fagkunnskap var av stor betydning for arbeidet til partikkelfysikkgruppa, og førelesingane hans ved Fysisk institutt var til stor inspirasjon både for studentar og tilsette. Ei gruppe ved Universitetet i Bergen forska også ved DESY på slutten av 1970-talet. Dei er svært takksame for den venskapen som utvikla seg med Bjørn då, og for den hjelp han alltid var klar til å yta.

Gjennom den nære kontakt Bjørn Wiik hadde med fysikarar over heile landet, vart han ein føregangsmann for partikkelfysikken også i Norge. Alle hans mange vener og kollegaer vil minnest han som eit av dei finaste menneske me nokon gong har kjent. Han etterlet seg kona Margret Becker-Wiik, borna Ivar, Liv og Astrid, og faren Håvard.

Haakon Olsen og Per Osland

∞

STUDÉR
FYSIKK!

Biologiske effekter av lavfrekvente elektromagnetiske felt

Arnt Inge Vistnes *

Er det farlig å bo nær kraftledninger? Er det farlig å jobbe ved en dataskjerm? Er det farlig å ha barn i barnehager med varmekabler i gulvet? Er det farlig å bruke mobiltelefon?

Det er lett å stille disse spørsmålene, men selv etter 20 års forskning, har vi ikke noen virkelig gode svar. Riktignok viser enkeltundersøkelser svar som kan virke sikre nok, men når en sammenholder mange undersøkelser, får en et mer broket bilde.

Midt i usikkerheten er det likevel noe som er klinkende klart. Meget kraftige 50 Hz – og enkelte typer pulsede – elektriske og magnetiske felt induserer såpass store strømmer i kroppen at nerver og muskler kan aktiveres direkte. Dette gir opphav til muskelrykninger eller synsfenomener (såkalte magnetofosfener) som ikke har noe med lys å gjøre. Det er også klart at kraftige felt i radiofrekvensområdet gir betydelig oppvarming av vev. Dette er effekter som lett kan reproduseres i laboratorier, og er det noen som vil ha slike effekter demonstrert, er det bare å besøke vårt laboratorium! Disse effektene er forlengst tatt i bruk i medisinen i forbindelse med nevrologiske undersøkelser og i hypertermibehandling av kreft. Slike effekter som kommer til syne mer eller mindre øyeblikkelig, kalles *akutte effekter*. På noen få arbeidsplasser i vårt samfunn utsettes arbeidere for felt som kan gi slike effekter.

Men hva med de svakere feltene som vi finner nær kraftledninger, varmekabler, dataskjermer og mobiltelefoner? Her er usikkerheten stor. Effekter det da snakkes om er økt kreftfare, endret veksthastighet, fosterskader, økt frekvens av spontanaborter, depresjon, søvnforstyrrelser, hormonforstyrrelser m.m. I det biokjemiske domenet snakkes det om endringer i melatoninutskillelsen (et hormon) om natta, kalsiumoscillasjoner over cellemembraner, endring i enzymaktivitet, påvirkning av celledeling, forstyrrelse av kontrollmekanismer i cellesyklus, ferrittkorn (små magnetiske partikler) og mye mer.

Og når usikkerheten er stor, kaster folk seg gjerne ut i voldsomme diskusjoner med skråsikre meninger om både det ene og det andre. Fysikerne er intet unntak. Det er til tider flaut å se hvordan "kunnskap" i fysikk (mis)brukes, som oftest for å "bevise" at det ikke *kan* være noen effekt av f.eks. felt nær kraftledninger. Siden de fleste som leser denne artikkelen vel er fysikere, har jeg valgt å la leserne selv finne ut hvorfor noen av de vanlige oppfatningene som hevdes er kraftig misvisende eller direkte feilaktige. Er du i tvil om "løsningene", kan du sjekke dem opp på internett: http://www.fys.uio.no/~arntvi/ffvlosng. Og her følger de misvisende/feilaktige utsagnene:

- Det er mye verre å oppholde seg i jordens magnetfelt på ca. 50 μT enn å bo nær en kraftledning og eksponeres for felt på ca. 2 μT.
- En får større indusert spenning i kroppen av å reise med fly i jordens magnetfelt enn ved å være nær en kraftledning.
- De elektromagnetiske bølgene fra kraftledninger har en så mikroskopisk liten energi ($E = h\nu$) i forhold til vanlig bindingsenergi i molekyler, at ioniseringer umulig kan forekomme.
- De elektriske feltene dempes så mye av kroppen (en faktor 10^{-7}) at feltene inne i kroppen blir helt ubetydelige. Til sammenlikning kan det nevnes at det elektriske feltet over en cellemembran er $\sim 5 \cdot 10^6$ V/m, mens det beregnede feltet inne i kroppen når vi står under en kraftledning, er $\sim 10^{-3}$ V/m.
- En kan skjerme vekk feltene fra en kraftledning ved å lage et Faraday-bur. For eksempel kan en legge hønsenetting på taket og jorde dette, så er en kvitt feltene.

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Hvilke felt, og hvor finnes de?

La oss nå se på hvilke felt vi utsettes for under ulike sammenhenger. Med mindre det ikke er spesifisert noe annet, er det bare 50 Hz felt vi snakker om. Feltstyrkene er da gitt som effektivverdier.

Elektriske felt

50 Hz elektriske felt får vi nær nesten enhver gjenstand koblet til lysnettet. En interessant detalj er at feltet nær en bordlampe ofte er nesten uavhengig av om lampa er slått av eller på, så lenge kontakten er i. De kraftigste feltene finner vi ofte nær høyspenningskilder, men også der spenningen er moderat, dersom avstanden mellom "kilden" og "jord" er liten. De kraftigste 50 Hz elektriske feltene som folk flest utsettes for, finner vi under store overføringslinjer på kraftnettet (300 og 420 kV linjer). Her kan feltene en meter over bakken være typisk opptil 5–10 kV/m. 50 Hz elektriske felt i vanlige bolighus ligger ofte på 1–10 V/m i snitt, men variasjonsområdet er gjerne 0,1–300 V/m. I hus med såkalt ESWA-varmefolie, kan de elektriske feltene bli vesentlig høyere enn i andre hus.

Det elektriske feltet nær bakken under kraftledninger er relativt nær opp til feltverdier som gir akutte effekter. Forslag til grenseverdier er ofte 10 kV/m, og det har vært vurdert om grensen faktisk burde senkes noe. Jeg har hørt e-verksfolk fortelle om en episode der en ku som beitet under en kraftledning fikk krampe i beina som følge av de induserte strømmene. Spenningen på kraftledningen måtte faktisk skrus av en periode for å få kua fjernet! Dette eksemplet kan være en nyttig påminning om at det induseres 50 Hz strømmer i kroppen så lenge vi står under en kraftledning. Strømmen varierer med hvor godt isolert en er fra bakken, men strøm blir det uansett.

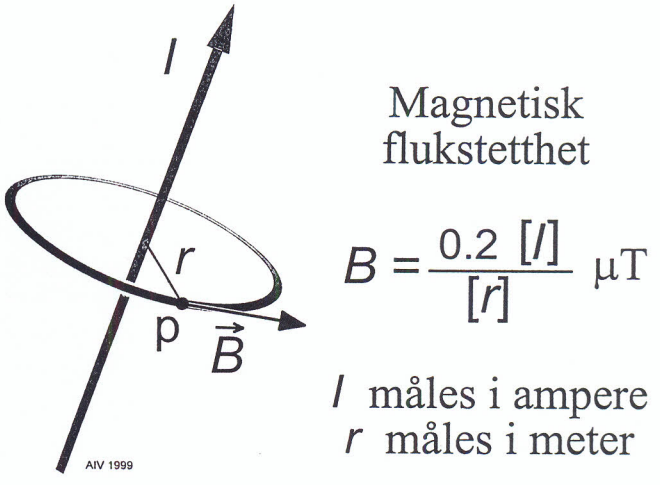
Elektriske felt kan lokalt bli betydelige når vi f.eks. legger en lampettledning inn mot kroppen og samtidig holder i en jordet gjenstand. Denne type situasjoner er det svært få som har engasjert seg i. I det hele tatt er arbeid med elektriske felt vanskelig fordi feltet så lett perturberes av mer eller mindre ledende gjenstander i kontakt med jord. Selv om fysikken bak fenomenene *i prinsippet* er såre enkel, er den ofte ganske så vanskelig å anvende i praksis i reelle, sammensatte situasjoner!

Magnetiske felt

For lavfrekvente magnetfelt og statiske felt bruker vi tradisjonelt å oppgi B-feltet (magnetisk induksjon eller magnetisk flukstetthet), målt i tesla, mens en heller bruker H-feltet (magnetisk feltstyrke), målt i A/m, ved høyere frekvenser, i radiofrekvensområdet og oppover.

Det er gjort langt flere og bedre målinger av 50 Hz magnetfelt enn av elektriske felt, og slike målinger er forholdsvis enkle å gjennomføre siden mennesker og måleinstrumenter nesten ikke forstyrrer feltene. Til og med ikke-magnetiserbare metallgjenstander forstyrrer statiske og lavfrekvente magnetfelt bare i moderat grad.

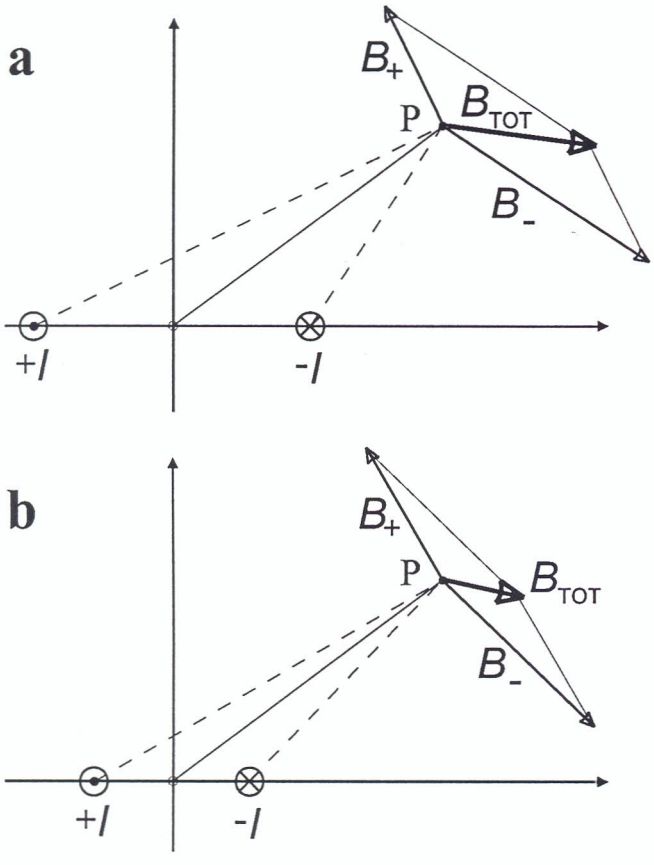
Magnetfeltene er avhengig av strømstyrken. Vi kjenner den enkle sammenhengen mellom strøm og magnetfelt fra en "uendelig lang rett leder" med strøm I, se figur 1. I praksis finner vi nesten aldri



Figur 1. Magnetfelt fra en "uendelig lang rett leder" med strøm I, er lett å beregne.

en enslig leder som vist i figuren. Strømmen går jo i sluttede kretser slik at vi også må ha en returleder. Og returlederen setter opp et magnetfelt som tenderer til å slukke ut magnetfeltet fra den første lederen, se figur 2. Hadde de to lederne vært koaksiale, ville magnetfeltene fra de to fullstendig slukket hverandre ut utenfor lederne; men ligger lederne parallelt og ved siden av hverandre, vil feltet ikke i noe punkt utenfor lederne bli fullstendig borte. Likevel, jo tettere de to lederne ligger, desto lavere blir magnetfeltet i omgivelsene.

Vi kan lett vise at feltet et stykke borte fra lederne er tilnærmet proporsjonalt med avstanden mellom lederne. Det er denne effekten som gjør at magnetfelt fra toleder varmekabler er svært mye mindre enn for enleder kabler. Ved enleder kabler legges "fram-" og "tilbake-ledningene" med ca. 12–15 cm



Figur 2. Magnetfelt fra to "uendelig lange rette ledere" med motsatt like store strømmer, I. Lederne står vinkelrett på figurplanet. Bidragene fra de to lederne virker delvis mot hverandre *utenfor* lederne, og totalfeltet blir da tilnærmet proporsjonalt med avstanden mellom lederne. Avstanden mellom lederne er dobbelt så stor i a (øverst) som i b (nederst).

avstand, mens avstanden i toleder kabler innenfor samme kappe, bare er 2–3 mm. Det er ikke uten grunn at magnetfeltene på gulvnivå kan komme opp i ca. 30 μT i rom med enleder varmekabler, mens feltene er nede i maks 0,2 μT ved toleder kabler. Feltene avtar med avstand fra gulvet.

Like under store kraftledninger kan magnetfeltene en meter over bakken komme opp i ca. 10 μT når det overføres mye energi (f.eks. vinterstid). I hus nær kraftledninger kommer magnetfeltene sjelden over 4 μT; mer vanlig er feltet ca. 1 μT og lavere.

Tett ved motorer eller små transformatorer, kommer magnetfeltene ofte opp i ca. 100 μT. Nær komfyrer og andre elektriske apparater, finner vi gjerne felt på 1–10 μT i vanlig bruksavstand. Gjennomsnittsnivået i norske bolighus er 0,01–0,02 μT.

Dataskjermer setter opp 50 Hz magnetfelt i vanlig arbeidsavstand til kroppen og hodet, på 0,1–0,5 μT, og noe høyere på hendenes plass; men feltene fra dataskjermer inneholder mange frekvenskomponenter!

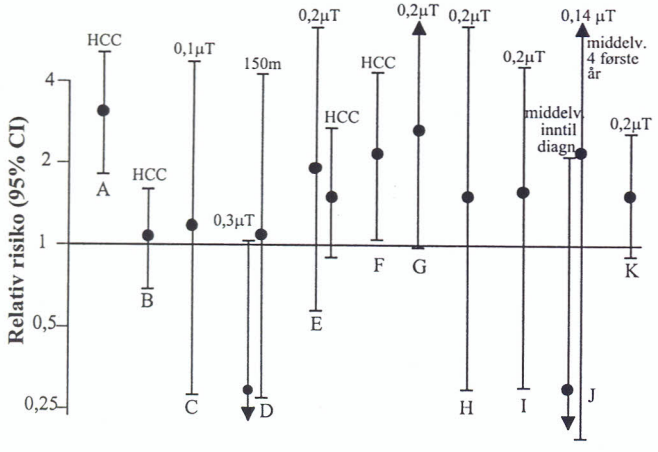
Arbeidere i smelteverk utsettes ofte for 50 Hz magnetfelt på 50–100 μT i kontrollrommet nær ovnene, og under inspeksjon av ovner, kan de komme opp i 1000 μT, av og til enda høyere. Folk i elektrolyseverk har en moderat eksponering for 50 Hz magnetfelt, men her er det først og fremst det statiske magnetfeltet som dominerer, opp til ca. 10 000 μT. I denne sammenheng kan vi også nevne at helsepersonell som jobber med magnetisk resonanstomografi (MR), kan utsettes for felt helt opp i tesla-området; men også dette er statiske felt. Sveisere er også en arbeidstakergruppe som utsettes for store lokale magnetfelt, iblant "statiske", og iblant 50 Hz, avhengig av om de bruker likestrøm eller vekselstrøm til sveisingen.

For å få såkalte akutte effekter, må vi opp i 1–$10{\cdot}10^3$ μT ved 50 Hz. Så sterke felt finnes bare noen få steder i industrien, f.eks. ved transformatorer og inne mellom ledningene som fører fram til elektrodene på smelteverk. Arbeidere på slike steder har rapportert om spesielle synsforstyrrelser, muskelrykninger og hodeverk.

Kreftfare?

Det er relativt lett å gjøre forskning på kreft, både fordi det eksisterer gode registre for kreft, og fordi det er lettere å få forskningsmidler innen dette fagfeltet enn på mange andre felt. Og det er gjennomført mange(!) undersøkelser for å finne en mulig sammenheng mellom eksponering for lavfrekvente elektromagnetiske felt og kreftforekomst. De siste tiårs store interessebølge startet med Leeper og Wertheimer som i 1979 fant en økt risiko for leukemi blant barn som vokste opp i hus nær kraftfordelingsnettet i Denver, i USA. Senere er mange undersøkelser gjennomført, og figur 3 viser i kortversjon de viktigste resultatene for leukemi blant barn.

Hva som menes med "å vokse opp *nær* en kraftledning", varierer fra undersøkelse til undersøkelse; iblant tar en utgangspunktet i midlere magnetfelt, iblant bare i avstanden i meter. For store kraftledninger kan "nær" bety avstander på opp til 75 m fra senterleder (byggeforbudssonen i Norge er ca. 19 m fra senterleder). For mindre kraftledninger må en kanskje bo mindre enn 10 m fra senterleder



Figur 3. Resultater fra epidemiologiske undersøkelser av leukemi hos barn som har vokst opp nær kraftledninger. Relativ risiko er gitt sammen med 95 % konfidensintervallet. Markeringene A, B etc. angir ulike studier, og en forklaring er gitt nedenfor. En kort kode er gitt for å antyde klassifiseringen som "eksponert", som ble brukt. HCC står for "high current configuration", et kvalitativt mål som bare delvis korrelerer med høyt magnetfelt. For Tynes' norske undersøkelse (J) er det gitt to ulike klassifiseringer, men hovedfunnet er det første. Det er interessant å se at Linets resultater (K) som sommeren 1997 ble fremstilt i massemedia som et endelig bevis på at det ikke var noen effekt av kraftledninger på leukemi hos barn, ikke har endret totalbildet vesentlig når alt kommer til alt. [Koder for undersøkelsene: (A) Wertheimer og Leeper, 1979; (B) Fulton et al., 1980; (C) Myers et al., 1985; (D) Tomenius, 1986; (E) Savitz, 1988; (F) London et al., 1991; (G) Feychting og Ahlbom, 1993; (H) Olsen et al., 1993; (I) Verkasalo et al., 1993; (J) Tynes og Haldorsen, 1996; (K) Linet et al., 1997.]

for at eksponeringen skal være spesiell.

Det er svært mye å si om resultatene som er vist i figur 3, og vi kan ikke gå inn på detaljene i denne artikkelen. Men hovedfunnet, slik det ble vurdert av en norsk "ekspertgruppe" i 1994/95, og også av de fleste andre ekspertgruppene rundt om i verden, er at det er påfallende at den såkalte "relative risiko" har en tendens til å ligge over 1,0 (dvs. økt risiko), selv om bare et fåtall av undersøkelsene har vist en statistisk *signifikant* økt forekomst av leukemi blant barn eksponert for 50 Hz magnetfelt.

Konklusjonen som er trukket om og om igjen, er at "det kan synes som det faktisk eksisterer en økt forekomst av leukemi blant barn som har vokst opp nær kraftledninger", men usikkerheten er stor. Siden vi ikke skjønner hvordan denne effekten kan oppstå, blir ofte dette funnet ytterligere bagatellisert. Videre, siden det er svært få som bor nær kraftledninger, i Norge bare mellom 1 og 5 % av befolkningen, og siden leukemi blant barn er en sjelden sykdom, er det ytterst få barn som eventuelt får sykdommen som følge av slik påvirkning. Det er jo nettopp dette som gjør at det er så vanskelig å få god statistikk i undersøkelsene (se det enormt store konfidensintervallet i den norske undersøkelen, J i figur 3). På den annen side, blant de barna som vokser opp nær kraftledninger er den økte risikoen for å få leukemi, dersom den er reell og har en relativ risiko på ca. 1,5–2,0, omtrent den samme som for mange andre skader/dødsfall blant barn, f.eks. dødsfall eller alvorlig skade i trafikken. Av den grunn kan en likevel ikke moralsk sett se helt bort fra denne mulige risikoøkningen. Samtidig er det klart at det heller ikke er snakk om så dramatiske forhold at det legitimerer at samfunnet bruker enorme summer for å legge om store deler av kraftledningsnettet.

Den tilsynelatende økte kreftforekomsten blant barn, er også forsøkt forklart på mange andre måter enn via elektriske eller magnetiske felt – spesielt av kraftprodusenter i USA. Det er hevdet at skjeve sosiale forhold, forurensing fra trafikk, forskjeller i røykemønster osv., kan forklare funnene; men foreløpig har ikke disse alternative forklaringene vært så godt begrunnet at de er blitt tatt helt alvorlig.

En detalj bør nevnes i forbindelse med disse kreftundersøkelsene: Praktisk talt alle studier bruker den såkalte "Time Weighted Average" (TWA) som mål for eksponering, enten direkte eller indirekte, f.eks. i form av såkalt "Line Configuration". Men så lenge vi ikke kjenner virkningsmekanismen, er dette eksponeringsmålet kun en "første gjetning", og det kan jo komme til å vise seg i fremtiden at målet er uheldig valgt. Det er altså en reell mulighet for at vi kanskje ville finne en klarere økt risiko for kreft dersom vi brukte et bedre eksponeringsmål. Dette er rene spekulasjoner, men det er likevel en viktig usikkerhetsfaktor som ikke bør glemmes.

Det bør også nevnes at undersøkelsene av kreft blant voksne i såkalte "elektriske yrker", viser en enda større variasjon enn for barn som bor nær kraftledninger. Blant voksne er det heller ikke en tydelig tendens til at relativ risiko ligger over 1,0 når vi betrakter funn fra mange undersøkelser. Generelt sett konkluderes det derfor oftest med at eksponering for lavfrekvente elektromagnetiske felt ikke synes å gi økt kreftforekomst blant voksne. På den annen side, må en være klar over at dette er

en høyst sammensatt gruppe når det gjelder eksponering. Det er på ingen måte gitt at det ikke senere kan vise seg å være spesielle grupper arbeidere med spesielle eksponeringsforhold, som kan ha en høyere kreftrisiko enn andre. Selv har jeg vært med på et par undersøkelser blant arbeidere i såkalte "høyspenningslaboratorier" som utsettes for en høyst spesiell eksponering. Vi mener å ha påvist en økt mengde kromosomskader blant denne arbeidsgruppen, men det er så få personer her i landet som jobber i slike laboratorier at det er vanskelig å få en god statistikk. (Disse undersøkelsene ble initiert og ledet av bedriftsleger og Statens Arbeidsmiljøinstitutt.)

Virkningsmekanismer

Hvordan kan det tenkes at lavfrekvente elektriske eller magnetiske felt kan virke inn på menneskekroppen?

Det er vel kjent at kraftige 50 Hz ytre elektriske felt (> 10 kV/m) og sterke 50 Hz magnetiske felt ($> 1-10\cdot10^3\,\mu$T) induserer såpass sterke strømmer i kroppen at nerver aktiveres. Dette skyldes at vi får tilstrekkelig store spenningsforskjeller *langs* nerver til at vi får utløst aksjonspotensialer.

De induserte strømmene vil også i prinsippet kunne sette opp elektriske felt langs cellemembranene som kan føre til "*in situ* elektroforese", det vil si sidelengs forflytning av enkelte membrankomponenter. Effekten er vist i modellsystem, men hvorvidt den vil kunne forekomme under reelle eksponeringsforhold, er et åpent sprøsmål.

Magnetfelt kan påvirke magnetiske partikler i kroppen. Det er påvist at det finnes små magnetittkorn i duer, bier, mennesker og i en del andre arter. "Korn" av denne typen benyttes av såkalte magnetotaksiske bakterier for å orientere seg i jordens magnetfelt (det finnes ulike bakterier på den nordlige og den sydlige halvkule!). Det er også spekulert i hvorvidt disse partiklene benyttes i en eventuell magnetfeltsans hus duer, og om de kan være knyttet til viktige proteiner ("porter" i membraner) hos mennesker. I så fall vil variable magnetfelt kunne påvirke funksjonene til disse proteinene.

Magnetfelt er også vist å kunne påvirke kjemiske reaksjoner gjennom den såkalte radikalparmekanismen. Like etter at et molekyl er spaltet i en kjemisk reaksjon, er produktene ofte radikaler og har et elektron med uparet spinn. Produktene er da oftest svært reaktive, men det er en høy sannsynlighet for at produktene faktisk bare reagerer tilbake med hverandre slik at reaksjonen i realiteten ikke fører med seg noe som helst. Det er vist at magnetfelteksponering påvirker sannsynligheten for at reaktantene skal reagere med hverandre igjen. Magnetfelt vil derfor kunne påvirke hastigheten i kjemiske reaksjoner. Dette er vist i modellsystemer, men ikke hos mennesker eller dyr. Siden reaksjonene vanligvis er meget raske i forhold til 50 Hz feltets periodetid på 20 ms, spiller det liten rolle for *denne* effekten hvorvidt vi har statiske eller lavfrekvente felt, men det kreves relativt sterke felt for at effekten lett skal kunne påvises i modellsystemene, ca. 10 000 μT eller mer.

Spørsmålet om signal/støy-forhold er meget sentralt når ulike virkningsmekanismer diskuteres. Dette er blitt fysikernes tveeggede sverd. Prinsippet er ufravikelig, men når alt for forenklede modeller benyttes i utregningene, blir argumentasjonen pinlig svak. En menneskekropp er som kjent ganske så forskjellig fra en sekk med saltvann, også elektrisk og magnetisk sett! Og det dukker opp overraskelser:

En eksotisk effekt basert på diamagnetisk anisotropi, ble nylig publisert. Befruktede froskeegg ble utsatt for et meget sterkt homogent statisk magnetfelt, i størrelsesorden 10 T. Det viste seg da at de første celledelingene ble sterkt påvirket av feltet. Av de tre første celledelingene skjer de to første vertikalt, mens den tredje normalt skjer horisontalt; men under det sterke magnetfeltet skjedde også den tredje delingen vertikalt! Effekten kommer av at biomolekyler som er viktige for celledelingen, ble orientert i magnetfeltet på grunn av den diamagnetiske anisotropien! I utgangspunktet skulle en forvente at en så spesiell effekt var så liten at den neppe kunne forventes å ha noen betydning i virkeligheten, men eksperimentene viser faktisk noe annet!

Det kan i denne sammenheng nevnes, for kuriositetens skyld, at det også er foretatt magnetisk levitasjon (løfting) av en biologisk organisme. En slik levitasjon skyldes ikke induserte strømmer i en supraleder slik som levitasjon vanligvis gjør, men levitasjonen har sin årsak i kraften som oppstår når et (svakt) diamagnetisk materiale utsettes for et meget kraftig inhomogent magnetfelt.

Når det snakkes om virkningsmekanismer innen lavfrekvente elektromagnetiske felt, trekker en ofte inn mye mer sammensatte fenomener enn det fysikere vanligvis betrakter. For eksempel sier en at én "mekanisme" er redusert melatonin-produksjon (melatonin er et hormon). Hvilken fysisk prosess som ligger bak denne effekten, dersom den er reell, er helt uvisst, men det kunne i prin-

sippet tenkes å være en eller flere av dem som allerede er diskutert. Melatoninhypotesen er forvrig blitt meget populær siden den har potensial i seg til å kunne forklare flere tilsynelatende urelaterte fenomen, så som påvirkning av døgnrytme, endring av kreftforekomst (spesielt brystkreft), hvorfor eksponering om natta synes viktigere enn eksponering om dagen, og forekomst av depresjon. Ved mange laboratorier studerer en i dag virkningen av elektriske og magnetiske felt på melatoninutskillelsen fra pineallegemet (en liten kjertel i den sentrale delen av hjernen), men forskningen blir blant annet vanskeliggjort av at hormonet melatonin utskilles i så små mengder at det vanskelig kan påvises med stor nok nøyaktighet ved hjelp av eksisterende laboratorieteknikker.

Biologi og fysikk

For en fysiker er det en ekstra utfordring å bli konfrontert med biologiske system, fordi de er så komplekse. Vi er vant med å kunne trille kuler ned et skråplan og finne en pen gaussfordeling for tiden som kulene bruker på strekningen. Enkle lover, enkle relasjoner, og klare fordelinger av årsaksforhold.

I biologien er det totalt forskjellig. Ta et eksempel: Når en fysiker tenker på en due, sier han ofte: "Bruker dua jordens magnetfelt, eller bruker den det *ikke* når den navigerer fra et sted til et annet?" Men virkeligheten synes å vise at dua bruker en hel rekke forskjellige metoder når den navigerer. Den bruker sol, stjerner, lukt, magnetfelt, gjenkjenning av terreng m.m., og velger den metoden som passer best i øyeblikket. Med andre ord, biologien er full av *redundans*: duger ikke det ene, så velges det neste. Vi kjenner jo dette fra vårt eget liv; vi har også oftest flere ulike måter vi kan løse oppgaver på, måter å reagere på etter ytre stimuli.

Noe liknende synes å skje helt ned på cellenivå. Utsettes cellene for en eller annen fysisk påvirkning, kompenserer de ofte relativt raskt på en slik måte at de lever omtrent uforstyrret videre. Kan dette være grunnen til at så mange forsøk med magnetfelt på mennesker, dyr og celler faktisk ikke viser noen klar effekt?

Iblant kan en få inntrykk av at magnetfelt har effekt i pilotforsøk der det bilogiske systemet ofte lever under ikke-optimale betingelser. Men så snart forsøket gjennomføres på nytt med optimale betingelser, så er effekten mer eller mindre borte.

Vi planlegger nå, i tråd med disse tankene, eksperimenter ved biofysikkgruppen ved Fysisk institutt, UiO, der vi ønsker å "stresse" cellene på en eller annen måte slik at de får langt fra optimale vekstbetingelser. Cellene vil da ikke så lett kunne kompensere for ytre påvirkninger. Vi ønsker under slike betingelser å eksponere cellene for magnetfelt og se om vi *da* kan påvise sikre effekter av magnetfeltet. Celledyrkingslaboratoriet som professor Erik O. Pettersen har bygget opp ved vår gruppe de siste årene, er en viktig del av forsøkene. Det blir spennende!

I denne artikkelen har jeg gitt noen smakebiter på et forskningsfelt i skjæringspunktet mellom fysikk, biologi og medisin. I fremstillingen har jeg måttet utelate en mengde detaljer. Nedenfor er det gitt noen referanser for dem som ønsker å gå nærmere inn i materien. Husk bare at følelsene er sterke i fagfelt med stor usikkerhet, og da blir stoffet svært sjelden fremstilt nøytralt. Du vil f.eks. kunne finne at Becker "tror" på effekter av relativt svake felt, mens Moulder "tror" at det ikke finnes noen slike effekter. Kanskje noen og hver vil måtte innrømme at det iblant kan være vanskelig å være objektiv og la følelsene ligge, i et fagfelt som dette. Den store interessen for fagfeltet i samfunnet, er en blandet velsignelse. Men spennende er det, ingen tvil om det!

Litteratur

1. NOU 1995:20: *Elektromagnetiske felt og helse. Forslag til en forvaltningsstrategi (se spesielt vedlegg 4).* Denne er også tilgjengelig på internett: http://odin.dep.no/nou/1995-20/index.htm
2. SoS rapport 1995:1 (Socialstyrelsen): *Elektriska och magnetiska fält och hälsoeffekter.* ISBN 91-7201-004-5. (Mer omfattende enn den norske NOU-rapporten, 231 sider.)
3. R.O. Becker and G. Selden: The Body Electric, Electromagnetism and the foundation of life. *Quill, William Morrow, New York (1985)*
4. P.A. Valberg, R. Kavet and C.N. Rafferty: *Review: Can low-level 50/60 Hz electric and magnetic fields cause biological effects?* Radiation Research 148, 2–21 (1997)
5. J. Moulder: *Power Lines and Cancer FAQs.* Internett: http://www.mcw.edu/gcrc/cop/powerlines-cancer-FAQ/QandA.html

∞

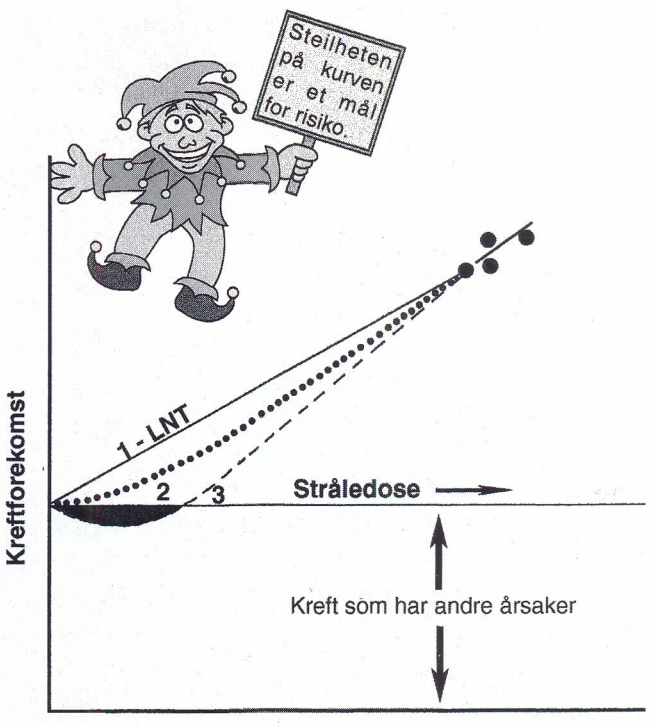
Stråling og risiko

Thormod Henriksen *

I løpet av de 100 år som har gått siden Röntgen og Becquerel gjorde sine oppdagelser, har vi samlet betydelige kunnskaper om de biologiske virkninger av ioniserende stråling. Tusenvis av eksperimenter er gjort med biomolekyler, celler i kultur, dyr og planter, og millioner av kreftpasienter har fått strålebehandling. Når vi bruker store stråledoser, er resultatene akutte: De opptrer i løpet av dager, er klare og signifikante. Når dosene avtar, vil effektene avta; og når en kommer ned til de virkelig små doser, slike vi alle får på grunn av bakgrunnstrålingen (3 til 10 mSv pr. år), observeres aldri akutte effekter. (Definisjoner av enheter finnes i ref. 1.) Den viktigste seneffekt etter moderate stråledoser er kreft. Summarisk kan en si at store stråledoser kan drepe celler, mens middels og små doser representerer en risiko for at cellene forandrer seg slik at de utvikler seg til kreftceller.

I alt strålevernarbeid, og i all diskusjon omkring betydningen av små doser, er formen på dose-effektkurven helt avgjørende. I figur 1 er vist noen mulige former av dosekurven for stråleindusert kreft. Vi skal bruke denne figuren i den videre diskusjon, og vil slå fast følgende:

- Det er mulig å få informasjon om dose-effektkurven i høydoseområdet (> 200 mSv). De mest omfattende studier som er gjort er knyttet til atombombene over Hiroshima og Nagasaki i 1945, der stråledosene var akutte (se figur 3).
- Vår informasjon om dose-effektkurven i lavdoseområdet er svært mangelfull. Det betyr at vi må basere våre risikoberegninger på ekstrapoleringer fra høydoseområdet. Flere muligheter eksisterer (se figur 1). Ett poeng med denne artikkelen er å vise at formen på dose-effektkurven i lavdoseområdet har stor betydning, økonomisk så vel som for våre holdninger til all virksomhet knyttet til stråling (kjernekraft, deponier, opprydding etter reaktorulykker, bombenedfall og bruk av stråling i medisin og industri).
- Vi lever i et "hav" av stråling, og bakgrunnsdosen i Norge varierer fra ca. 2 til 20 mSv pr. år. Det innebærer at alle "befinner seg" et sted på dose-effektkurven. Videre betyr det at vi "beveger" oss utover doseaksen hver dag gjennom livet, med en hastighet som er avhengig av bosted, boligtype, livstil og helse.



Figur 1. Dose-effektkurver for stråling og kreft. Vi har noe informasjon i høydoseområdet (markert med punkter), men er avhengig av ekstrapolering til lavdoseområdet. Kurve 1-LNT (Linear No Threshold) brukes av strålevernet. Kurve 2 er en lineær-kvadratisk kurve, mens kurve 3 har en terskel, så vel som en "hormetisk" del, for de aller minste dosene. Det betyr at litt stråling er positivt.

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

- Risikoen som er forbundet med en liten ekstradose (ΔD) er den deriverte av dose-effektkurven. For en rett linje (1-LNT i figur 1) er risikoen konstant og uavhengig av dosen. Den absolutte risiko kan beregnes som produktet av den deriverte og ekstradosen.

Den internasjonale strålevernkomiteen ICRP (International Commission on Radiological Protection) bruker den lineære dose-effektkurven. Den er enkel og angir risikoen for enkeltpersoner og store befolkningsgrupper ved ulykker hvis ett punkt på kurven er kjent. ICRP har gjennom flere år forsøkt å angi risikofaktoren for stråleindusert kreftdød. Den har variert fra ca. $6 \cdot 10^{-3}$ til $50 \cdot 10^{-3}$ pr. Sv. Den siste verdien blir brukt i dag.

En lineær dose-effektkurve innebærer også at en kan bruke begrepet *"kollektiv dose"* i risikoanalyser. Den kollektive dose er summen av de individuelle doser til den gruppe som eksponeres. For eksempel er den midlere bakgrunnsdose for oss i Norge 4 mSv pr. år. Kollektivdosen for 4,4 mill. nordmenn blir da 17 600 Sv pr. år. Hvis vi bruker kurve 1-LNT, og en risikofaktor på $50 \cdot 10^{-3}$ pr. Sv, fører det til 880 beregnede kreftdødsfall pr. år. Likeledes kan en anslå at Tsjernobyl-ulykken, som over 50 år gir en middeldose på ca. 2 mSv, ville føre til noen hundre beregnede dødsfall i Norge. Denne tvilsomme analysemetode har også vært brukt for å evaluere effekten av dosereduksjonstiltak i forbindelse med Tsjernobyl-nedfallet ("nedforing" av sau og kassering av kjøtt) og for å beregne betydningen av radongass i boliger.

Hvis dose-effektkurven *ikke er lineær*, vil slike enkle analyser falle i fisk. En kan da ikke bruke, eller ha nytte av, begrepet kollektiv dose; og risikofaktoren vil ikke lenger være konstant, men vil variere med dosen. Det betyr også at alle de doser en samler opp gjennom livet, har betydning.

Hvordan få informasjon om dose-effektkurven?

Vi kan få informasjon om dose-effektkurven ved å gjøre eksperimenter med dyr, eller ved å gjennomføre epidemiologiske studier av grupper som blir utsatt for ekstra stråledoser. Dertil kan vi få informasjon via teoretiske modeller og ved forskning på mekanismer.

Hvis vi antar at stråleindusert kreft skyldes en stokastisk prosess, f.eks. en tilfeldig ionisasjon, vil dose-effektkurven bli lineær uten terskel (1-LNT). Hvis strålingen i tillegg setter igang andre prosesser som har betydning for kreftutviklingen, f.eks. stimulering av reparasjonsprosesser, vil den lineære kurven ikke være korrekt. Vi skal se litt på disse punktene og vise til noe av den spennende forskningen som nå finner sted.

Tallrike dyreeksperimenter har vist at store doser (> 0,5 Sv) kan gi kreft. Risikoen øker med økende dosehastighet. Det tror vi kan tilskrives at reparasjonsmekanismene får for meget å gjøre (se senere). Det har også betydning for doseberegningene om dosen gis over lang tid. Dyreforsøkene gir liten eller ingen informasjon om dose-effektkurven i lavdoseområdet, selv i eksperimenter med mange dyr (mus).

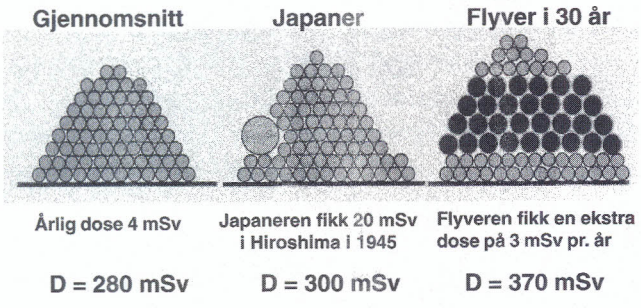
Mange forskere, men i første rekke legfolk, tror at epidemiologiske studier vil kunne gi avgjørende informasjon om dose-effektkurven. I Norge har vi sett flere forslag om å gjennomføre epidemiologiske studier av grupper som ble eksponert i forbindelse med Tsjernobyl-ulykken, eller etter nedfallet fra atombombeprøvene over Novaja Semlja i 1960-årene. At slike studier *ikke* kan føre fram, vil framgå av følgende. En korrelasjon av stråling og kreftforekomst innebærer måling av to prametre: a) stråledosen og b) diagnostikk av kreft. Den ene er fysikk og den andre er medisin.

Den medisinske delen er relativ enkel, selv om det ikke eksisterer noen spesiell kreftform som *bare* skyldes stråling. Vi vet at enkelte kreftformer, som leukemi, forekommer hyppigere enn andre, men de fleste kreftformer kan trolig forårsakes av stråling. Det er viktig å understreke at stråling spiller en forholdsvis beskjeden rolle som kreftårsak hos mennesker. Informasjon om kreftforekomst får vi fra Kreftregisteret.

Stråledosen, både absolutt størrelse og dosehastighet, har vi kontroll over kun i laboratorieforsøk med dyr og cellekulturer. Det er et kjempeproblem å finne fram til stråledosen til den enkelte etter en ulykke. Således har det gått med tusener av arbeidstimer for å bestemme de akutte dosene som ble gitt i forbindelse med atombombene i Japan. For en utvalgt gruppe på ca. 85 000 (den såkalte "life span study cohort") kjenner vi dosene såvidt bra at vi kan presentere de data som er gitt i figur 3. I forbindelse med andre ulykker, f.eks. i Tsjernobyl, er dosebestemmelsene betydelig vanskeligere fordi dosene både var mindre (unntatt for en del "clean up workers") og var strakt ut over tid.

Det er likevel et annet problem som fullstendig overskygger problemene med dosebestemmelsene,

nemlig å finne brukbare kontrollgrupper. En kontrollgruppe er en gruppe mennesker som i alle deler er lik den eksponerte, men som ikke har fått noen ekstradose. Vi lever med et varierende nivå av bakgrunnstråling og de akkumulerte livstidsdoser vil variere betydelig. Et forsøk på å vise hvordan livstidsdosen akkumuleres og varierer fra ett menneske til et annet, er gitt i figur 2.

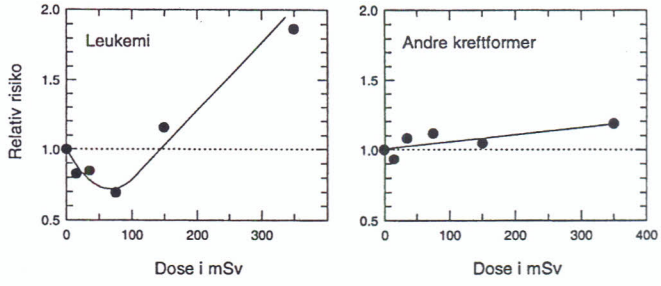


Figur 2. Her er vist tre tenkte tilfeller av hvordan en gjennom 70 år samler opp en livstidsdose. Hver enkelt sirkel representerer en årsdose. Den vil være avhengig av bolig, yrke og livsstil. Årsdosene vil for hver enkelt variere fra år til år.

Årsdosen er avhengig av bolig, yrke, livsstil og hvor ofte en må benytte røntgen hos lege og tannlege. Det reiser seg et viktig spørsmål i forbindelse med figur 2: Hvor stor må ekstradosen være (akutt eller gitt over noen år) for at det skal være mulig å observere noen langtidseffekt? Er det f.eks. mulig å se en effekt etter en akutt dose på 20 mSv, som mange japanere fikk etter Hiroshimabomben, eller en ekstradose på 3 mSv gjennom 30 år, som flyvere og flykabinpersonell kan få? Dette er uløste spørsmål som viser at det er vanskelig, for ikke å si umulig, å finne kontrollgrupper til bruk i slike epidemiologiske studier. Det vil være bortkastet tid og penger å gjøre forsøk på emidemiologiske studier hvis ekstradosen er mindre enn 10 mSv, og særlig hvis den er akkumulert over tid.

Ved de epidemiologiske studier som er gjort, har en stort sett neglisjert bakgrunnstrålingen. I det omfattende studiet av "the life span study cohort" i Japan, ble gruppen som fikk doser under 10 mSv brukt som referanse. De dosene befolkningen ble utsatt for i Hiroshima og Nagasaki, var akutte, og var en blanding av gammastråling og nøytronstråling. For hver enkelt person forsøkte en å rekonstruere forholdene da bombene eksploderte (mengde av beskyttende materiale, avstand fra sprengpunkt osv.). Doseberegninger ble først lagt fram i 1965, og senere revidert i 1986. Det er *ikke* tatt hensyn til de stråledoser befolkningen fikk før eller etter august 1945. De som tilhørte "the lifetime study cohort" ble delt inn i en rekke undergrupper, fra 0 til 10 mSv osv. opp til mer enn 4 Sv. Resultatet for lavedoseområdet opp til 350 mSv, er vist i figur 3.

Resultatene i figur 3 gjenspeiler den usikkerhet som råder for akutte doser under ca. 150 mSv. For leukemi kan resultatene tyde på en U-formet dose-effektkurve (som kurve 3 i figur 1), mens kurven for faste svulster er bedre tilpasset en rett linje. Hvis resultatene i høydoseområdet tas med, kan kurven for faste svulster ikke lenger tilpasses en rett linje. Konklusjonen av disse studiene, og de mange dyreeksperimenter, er at vi ikke har nok informasjon til å avgjøre kurveformen i lavdoseområdet. Resultatene svekker troen på 1-LNT-kurven i figur 1.



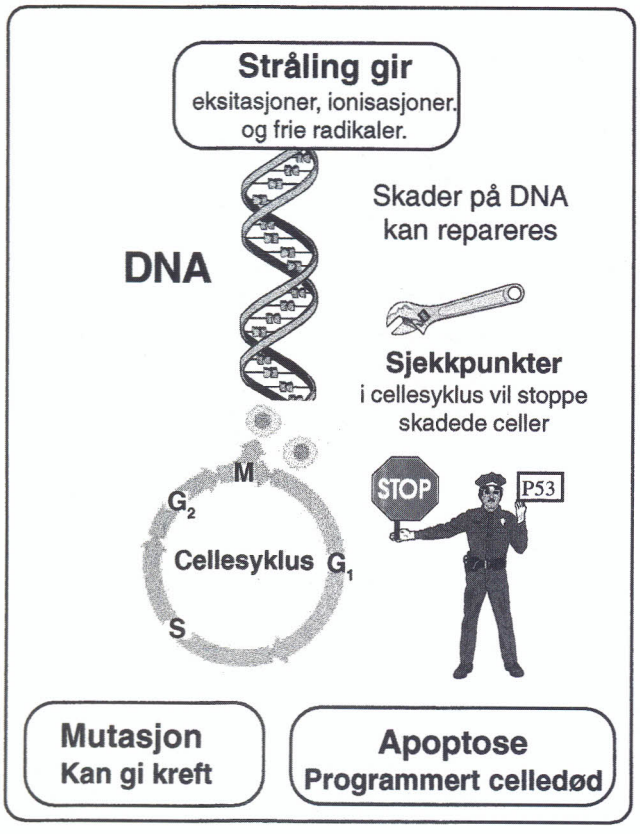
Figur 3. Relativ risiko for kreftdød etter atombombene i Japan i 1945. Doseberegningene er fra 1986 og angir akutt stråledose i 1945. Gruppen 0 til 10 mSv er brukt som referanse. Leukemi er skilt ut fordi det var den kreftformen som forekom hyppigst.

Mekanismer for stråleindusert kreft

Vi nevnte at hvis kreft skyldes en stokastisk prosess, *uten* innvirkning av andre stråleinduserte prosesser, vil dose-effektkurven være lineær og uten terskel. Ideen er da at en enkelt ionisasjon kan føre til en kreftutvikling. Ser vi nærmere på de basale prosesser som inngår, vil det framgå at dette er en altfor enkel model. La oss derfor se nærmere på de prosesser og mekanismer som er kjent om kreftutvikling (se figur 4).

Alle celler har et begrenset liv. De løper gjennom en livssyklus som gir to nye celler ved deling (mitose). Når det oppstår en skade i cellen, og da gjerne en skade på DNA-molekylet, er det en mulighet for at denne skaden kan transformere en normal celle til en kreftcelle. For å stoppe en slik utvikling, er det to muligheter:

1. Skaden repareres.
2. Cellen stoppes i sin livssyklus og ledes inn i en prosess som fører til inaktivering eller død. En død celle kan ikke gi kreft.



Figur 4. Her er vist noen prosesser og punkter som vi mener er viktig for en kreftutvikling. Stråling, kjemiske stoffer o.l., kan gi DNA-skader. Skadene kan enten repareres, være uten betydning, eller de kan føre til en mutasjon, enten direkte eller etter at cellen har gått gjennom en cellesyklus. En skadet celle kan også hindres i å dele seg ved at den stoppes ved visse punkter i sin livssyklus. I noen tilfeller ledes den skadde cellen inn i en "programmert" død (apoptose), og en død celle gir ikke kreft.

Allerede i 1960 publiserte amerikanerne M.M. Elkind og H. Sutton et arbeid som viste at cellene har et reparasjonssystem. Vi forstår i dag at dette er helt nødvendig for at vi skal kunne eksistere, fordi de normale metabolske prosesser fører til en masse skader, det vi kaller for endogene skader. Det skjer f.eks. omtrent 2 DNA-trådbrudd pr. sekund i en celle, og i alt omkring 200 000 DNA-skader i hver celle pr. dag. I tillegg til dette får vi skader fra ytre påvirkninger som stråling, og av en del kjemiske stoffer, det vi kaller exogene skader. "Reparasjonsverkstedet" består av enzymer, og de har fullt opp å gjøre. Vi kan forresten merke oss at dette "verkstedet" svekkes med alderen, noe som betyr at antall ureparerte skader øker med alderen. Vi vet også at kreftforekomsten øker med alderen.

Cellenes reparasjonssystem kan ikke ta seg av hvor mange skader som helst på en gang. Her finner vi muligens årsaken til at risikoen for kreft øker med dosehastigheten, som nevnt i forbindelse med dyreeksperimenter.

Skader som ikke repareres, eller som feilrepareres, kan gi mutasjoner. Man har funnet at cellene i mange kreftsvulster har en mutasjon i det såkalte p53-genet. Det er et krefthemmende gen som "koder" for proteinet p53. Det viser seg at p53 arbeider som en "vaktpost" i cellesyklusen (se figur 4) og hindrer skadede celler i å dele seg. Når det er en mutasjon i p53-genet, vil proteinet kunne inneholde feil, eller det lages ikke. Det kan igjen bety at "vaktposten" er borte slik at skadede celler ikke stoppes, og resultatet kan bli en ukontrollert vekst av skadede celler.

Vi vet også at p53-proteinet frigjøres av reparasjonsprosessene, noe som innebærer at "reparasjonsverkstedet" også styrker cellenes kontrollsystem. Vi tror at p53-proteinet deltar i de prosesser som fører til programmert celledød (apoptose), og som hindrer en skadet celle i å utvikle seg til en kreftcelle – den dør i stedet for å gi kreft.

Stimulering av reparasjonsmekanismene

Når en celle får en DNA-skade, ser det ut til å gi en stimulerende effekt på reparasjonsmekanismene. Støtte for dette er en rekke nyere studier på 1990-tallet som viser at stråling kan stimulere reparasjonsprosessene. Vi nevner et eksperiment der en studerte kromosomskader i humane lymfocytter. Skadene ble indusert av en relativt stor akutt stråledose på 1,5 Gy. Følgende eksperiment viser at det er mulig å stimulere reparasjonsprosessene:

- Når lymfocyttene ble bestrålt med en liten dose (fra 10 til 150 mGy) før hoveddosen på 1,5 Gy ble gitt, ble antall skader redusert med opp til 50 %.
- For å oppnå maksimal effekt, måtte stimuleringsdosen gis 4 til 6 timer før den store dosen. Denne effekten så ut til å holde seg gjennom tre cellesykler.

Dette eksperimentet var det første i en lang rekke som viser at stråling har en stimulerende (adaptiv) effekt. En liten stråledose kan redusere antall kromosomskader, antall mutasjoner hos bananfluer, og stimulere immunapparatet. Det er vist at små stråledoser kan stimulere celleveksten i milt og thymus hos mus, noe som har en positiv virkning

på dannelsen av antistoffer.

En konklusjon er at stråling fører til DNA-skader og andre celleskader, men den fører også til en stimulering av reparasjonssystemet. Dermed oppstår den mulighet at små mengder av stråling kan reparerere flere skader enn den produserer. Det ville i så fall kunne støtte en dose-effektkurve med en U-form, slik som kurve 3 i figur 1.

Konsekvenser

Ifølge kurve 1-LNT er enhver stråledose uønsket. Det innebærer at en bør redusere alle doser, også bakgrunnstrålingen, til et minimum. I sin ytterste konsekvens ville noen kanskje kunne ønske å leve i et strålefritt miljø. At dette neppe er noen fordel, ble tydelig demonstrert i et fransk forsøk med tøffeldyr. For disse encellede dyrene (paramecium) fant en følgende resultater:

1. Celleveksten ble redusert når tøffeldyrene vokste i et blykammer med 5 til 10 cm tykke vegger som reduserte bakgrunnstrålingen betydelig. Samme resultat fikk en når eksperimentet foregikk i et underjordisk laboratorium.
2. Neste trinn i eksperimentet var at en både i blykammeret og i det underjordiske laboratoriet førte inn radioaktive kilder. Strålingen fra disse ga doser på 2 til 7 mSv pr. år, omtrent lik bakgrunnstrålingen. Resultatet var at celleveksten ble normal igjen.

Disse studiene viser at små stråledoser sannsynligvis er både positive og nødvendige for oss. Dette er i strid med strålevernets prinsipper og kurve 1-LNT i figur 1. Strålevernet ønsker å redusere alle stråledoser mest mulig. De har et prinsipp, ALARA-prinsippet, som sier at dosen skal være så liten som praktisk mulig (As Low As Reasonably Achievable). Dette er ikke noe godt prinsipp, fordi enkelte vil da mene at en bør sette inn store ressurser for å redusere doser som er ubetydelige. Et godt eksempel på dette har vi fra vår behandling av Tsjernobyl-ulykken. Vi har satset store summer på å "fore ned" sauer og kaste kjøtt som inneholder mer radioaktivitet enn de grenseverdier for Cs-137 som ble bestemt like etter ulykken (600 Bq/kg). Fortsatt brukes betydelige midler til dette. Det er beregnet at Tsjernobyl-ulykken vil gi oss en akkumulert gjennomsnittsdose over 50 år på ca. 2 mSv. Til sammenligning gir bruk av stråling i medisin ca. 0,6 mSv pr. år, eller ca. 30 mSv over 50 år (tilsvarer 15 Tsjernobyl-ulykker).

Vi må derfor ikke sanseløst fastsette terskelverdier etter "føre-var-prinsippet", for når en først har fastsatt en grenseverdi, må samfunnet satse på å overholde den. Det å fastsette grenseverdier krever kunnskap om dose-effektkurvens form ved små doser, og om den har en terskel. Det er flere ytre påvirkninger der vi vet at dose-effektkurven har en U-form (kurve 3 i figur 1). Vi kan nevne UV-stråling fra sola. UV-stråling gir oss D-vitamin, og i små doser stimulerer den immunforsvaret. Store UV-doser derimot, svekker immunforsvaret og gir økt risiko for hudkreft. Det innebærer at dose-effektkurven for UV-stråling og helse, er U-formet. Vi har lignende forhold for en rekke kjemiske sporstoffer som kopper og selen, som er giftige i store doser, men som er nødvendige i små doser.

Konklusjon

Vår konklusjon er at nyere forskning har vist at ioniserende stråling kan ha en positiv helseeffekt. Vi viser til de mange eksperimenter med adaptiv effekt. Vi kan også nevne at levealderen til de som ble bestrålt av bombene i Japan og overlevde, er større enn for de som ikke ble bestrålt.

Stråleforskningen er fortsatt et spennende felt der vi stadig finner nye og overraskede resultater. Vi har til nå ikke løst problemet med ekstrapolasjon av dose-effektkurven til lavdoseområdet. Hverken dyreforsøk, epidemiologiske studier eller modeller kan slå fast hvilken kurveform som er mest riktig (figur 1). Strålevernet holder fortsatt på kurve 1-LNT, mens stråleforskerne i stadig større grad, holder åpent for en U-formet kurve.

Litteratur

1. T. Henriksen og medarbeidere: *Stråling og Helse.* Fysisk inst., UiO (1995).
2. Ellen K. Henriksen og Thormod Henriksen: *Vår Strålende Verden.* Fysisk inst., UiO (1998).

   Begge disse finnes på Internett:
   http://www.fys.uio.no/biofys/norsk/popular.htm
3. B.L. Cohen: *Validity of the Linear No-Threshold Theory of Radiation Carcinogenesis at Low Doses.* Twenty-Third Annual Symposium, The Uranium Institute, London (1998).
4. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation: *Report to the General Assembly, Annex B: Adaptive Response.* United Nations, New York (1994).

∞

Mot Saturn og Titan

Arne Pedersen *

Den 15. oktober 1997 startet en 7 år lang romferd mot planeten Saturn og dens største måne Titan med oppskytning av romfarkosten Cassini Orbiter fra Cape Kennedy i USA. Cassini Orbiter har med en probe, kalt Huygens, som skal utføre målinger fra fallskjerm i Titans atmosfære, og Cassini Orbiter selv skal gå i bane omkring Saturn i flere år. Dette store prosjektet er et resultat av et nært samarbeid mellom USA og Europa, og Huygens har vært en stor utfordring for den europeiske romfartsorganisasjonen ESA og for de mange europeiske forskerne som deltar i prosjektet. Hva vet vi nå om Titan, og hvilken ny kunnskap kan vi vente å få om denne Saturn-månen når Huygens kommer fram dit i år 2004?

Oppdagelser i gammel og ny tid

Galileo Galilei utførte de første observasjoner av Saturn i 1610 med sitt nybygde teleskop. Hans observasjoner stimulerte interessen for astronomi i Europa, og i 1655 var to vitenskapsmenn i Paris og observerte Saturn, Jean Dominique Cassini fra Italia og Christian Huygens fra Nederland. Den sistnevnte oppdaget Saturns største måne Titan. Cassini konkluderte, etter flere års observasjoner, med at Saturns ringsystem bestod av en sverm av små måner. Observasjoner fra satellitter som har passert gjennom Saturns ringsystem har vist at det består av støvlignende partikler, men at der også finnes flere mindre måner.

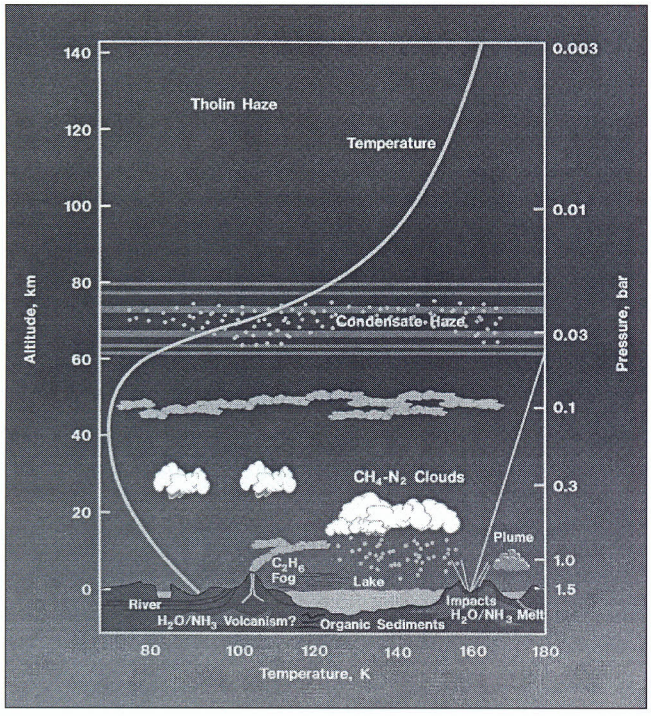
Etter Cassini og Huygens skulle det gå lang tid før verden fikk høre mer nytt om Saturn og Titan. Den moderne romforskningen åpnet muligheten for å lære mer om vårt planetsystem. Vi begynner nå å få en første ufullstendig forståelse av hvordan vårt planetsystem ble dannet og hvordan det har utviklet seg. Venus er kjent som en ugjestmild planet forårsaket av en drivhuseffekt over lang tid. Mars var tidligere med stor sannsynlighet en planet med en tettere atmosfære og med vann på overflaten; i dag ser vi et ørkenlandskap der. Vi begynner å ane at denne utviklingen kanskje kan fortelle oss om hvordan utviklingen vil kunne gå på vår egen planet.

Interessen for de ytre planetene er naturlig i denne sammenhengen. Så langt fra solen er det ventet at planetær kjemi har utviklet seg sakte, og derfor er det muligheter for å få et gløtt av vårt opprinnelige planetsystem. Den amerikanske romfartsorganisasjonen NASA var ledende i den første utforskningen av de ytre planetene, og Saturn og Titan var viktige mål. I denne artikkelen vil det bli fokusert på utforskningen av Titan og Europas rolle i en ny romferd dit. Men la oss først kort beskrive hva vi allerede vet om Titan.

Saturn og Titan har en avstand fra solen som er cirka ti ganger avstanden fra solen til jorden; det betyr at intensiteten av sollyset der bare er én prosent av den intensiteten vi har på jorden. Den interplanetare romsonden Pioneer 2 passerte Saturn i 1979 og tok de første bilder av Titan, og disse viste at den var dekket av tette skyer. Den mer velutrustede romsonden Voyager 1 passerte Titan i 1980 i en avstand av 4000 km. Voyager 1 og Voyager 2, som passerte Saturn i 1981, har gitt oss mye informasjon om denne planeten med det kjente ringsystemet og de mange månene. Banen til Voyager 1 ga informasjon om Titans masse, og kameraene om bord ga informasjon om dens størrelse. Atmosfærens tetthet ble bestemt ved å måle sollysets absorpsjon som en funksjon av lysets passasje gjennom atmosfæren. Ved å sette sammen biter av informasjon, og bruke modeller for termodynamisk balanse, kan vi i dag beskrive Titan og dens atmosfære med en sikkerhet som har gjort det mulig å planlegge Huygensproben som skal bremses med fallskjerm i Titans atmosfære.

Titan har en radius på 2575 km; det er 40 % av jordens radius. Overflatetemperaturen og trykket er 940 K og 1496 mbar. Figur 1 viser atmosfæretemperaturen som en funksjon av høyden og viser

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.



Figur 1. Temperatur og trykk i Titans atmosfære. En tåke av små partikler i 60–80 km høyde skjuler overflaten.

også hvor de forskjellige lag med dis og tåke befinner seg. Titan går i en 16-dagers bane omkring Saturn i en avstand av litt over 20 Saturn-radier. Dette betyr at Titan kan, avhengig av solvindtrykket, befinne seg i solvinden eller i Saturns magnetosfære. Titan har ikke magnetfelt, eller bare et svakt, og er derfor ubeskyttet når det gjelder partikkelnedbør, særlig fra Saturns magnetosfære der det finnes energetiske partikkelpopulasjoner.

Kameraer på Voyager 1 kunne ikke ta bilder av Titans overflate på grunn av en ugjennomtrengelig tåkedis som skjulte hele månen. Spektroskopiske målinger i det infrarøde området ga imidlertid spennende opplysninger om dens atmosfære. Nitrogen er den mest forekommende gassen i Titan-atmosfæren, men der finnes også metan og etan og en flora av organiske forbindelser. Det er spesielt interessant at hydrogencyanider er blitt observert på Titan med jordbaserte radioteleskop. Disse forbindelsene betraktes som en mulig nøkkel til oppbyggingen av de livsformer vi kjenner.

Nye muligheter for europeiske forskere

Hva er så argumentene for en ny romferd til Saturn og Titan? Bilder og vitenskapelige data fra Pioneer og Voyager har gitt oss detaljert informasjon om Saturn og Titan. Som det skjer i all forskning, ledet dette til nye mer detaljerte spørsmål, og interessen for et nytt forsøk for å lære mer om Saturn og dens mystiske måne Titan økte etter at observasjonene fra Pioneer og Voyager ble kjent. Amerikanske og europeiske forskere hadde i 1980-årene startet et bredt samarbeid basert på disse observasjonene. Her var det muligheter for å kunne studere en primitiv atmosfære som var nærmere den opprinnelige planetatmosfæren på grunn av lave temperaturer. Et annet spørsmål var om kosmisk stråling og partikkelnedbør fra Saturns magnetosfære, kunne gi opphav til nye organiske molekyler. Bare direkte målinger i Titans atmosfære, og om mulig på overflaten, vil kunne gi svar på disse spørsmålene.

Ideen om en stor satellitt i bane omkring Saturn, og en probe for målinger i Titans atmosfære, ble fremført på begge sider av Atlanteren i 1980-årene. Forskere i USA og Europa greidde å bevege ESA og NASA til å utføre en preliminær studie i 1984–85. I 1986 opplevde ESA en stor suksess med romsonden Giotto som passerte nær Halleys komet og tok de første bilder av kometens kjerne. Europeiske forskere hadde her vært med på avanserte instrument og kunne gi viktige bidrag til forskningen på dette området. Denne utviklingen bidrog også til å sette fart på flere studier av Cassini/Huygens-prosjektet, og ESA ble tildelt oppgaven med å utvikle en romsonde for målinger i Titans atmosfære. I 1988 ble prosjektet godkjent både av ESA og NASA. NASA skulle være ansvarlig for hovedfarkosten, som ble gitt navnet Cassini Orbiter, og proben som skulle gå til Titan ble gitt navnet Huygens.

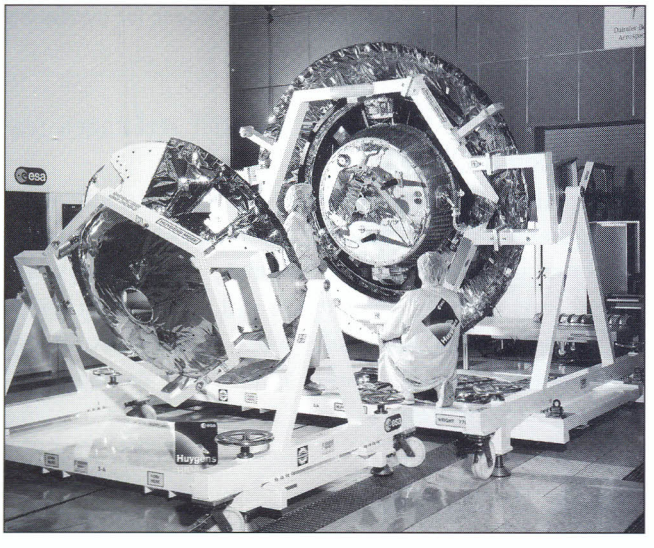
Cassini Orbiter og Huygens-proben ble som nevnt skutt opp fra Cape Kennedy 15. oktober 1997 og er nå på vei til Saturn og Titan hvor de vil ankomme i år 2004.

Huygens-proben

Figur 2 viser Huygens-proben montert på skjoldet som skal gi den første oppbremsing i Titans atmosfære. De videre sekvenser med oppbremsing med hjelp av fallskjermer og landing etter vel 2 timer, er vist i Figur 3. Hovedvekten er lagt på målinger i atmosfæren. Huygens-proben kan overleve en viss tid i en væske og har også rimelige muligheter for å overleve en landing på en fast overflate. Cirka 20 dager før landingen på Titan vil Huygens bli gitt en rotasjon og frigjort fra Cassini Orbiter. Den vil

da være siktet inn mot et forutbestemt mål på Titan. Under Huygens-probens passasje gjennom Titans atmosfære, og også etter landingen, vil Cassini Orbiter være i posisjon for å kunne motta alle data fra proben, for så senere å videresende disse til jorden.

Følsomme akselerometre vil registrere oppbremsingen av Huygens i Titan-atmosfæren fra en høyde av 200–300 km, og i en høyde av cirka 150 km vil målingene av Titans ionosfære og atmosfæresammensetning begynne. Antenner kan registrere elektromagnetiske signaler fra mulige elektriske utladninger i atmosfæren. Optiske målinger på Voyager av sollys gjennom Titans atmosfære, har vist at skylagene som skjuler overflaten inneholder mikrometer-partikler. Kosmiske kjemikere forventer å finne svar på mange spørsmål omkring Titans atmosfære når de får vite hva disse partiklene består av. Ett eksperiment tar sikte på å finne svar på disse spørsmålene. Partiklene vil bli oppfanget og opphetet, og den avgitte gassen vil bli analysert. Det finnes også et kamerasystem ombord som dekker bølgelengdene fra ultrafiolett til infrarødt og kan måle både innkommende og utgående stråling.



Figur 2. Huygens-proben montert på skjoldet som skal sørge for den første oppbremsingen i Titans atmosfære og som dessuten vil gi en termisk beskyttelse under oppbremsingen.

De første bilder av Titans overflate vil bli tatt så snart den blir synlig gjennom skyer og dis. En dopplerforskyvning på radiolinken mellom Huygens og Cassini Orbiter vil bli målt og vil kunne gi informasjon om Huygens-probens avdrift på grunn av vind. En spesiell instrumentpakke tar sikte på å utføre målinger i forbindelse med landingen. Akselerometre vil da vise om det blir landing på en fast overflate eller i en væske. Akustiske målinger gir lydhastigheten på siste del av ferden gjennom atmosfæren, og kan brukes som sonarmålinger hvis det blir en landing i en væske. Temperaturen og dielektrisitetskonstanten er også blant de parametre som vil bli målt.

Cassini Orbiter vil sirkle omkring Saturn i flere år etter at Huygens-proben har landet. Disse banene vil forandres på en systematiske måte når Cassini Orbiter passerer Titan. Måten passasjen skjer på bestemmer påfølgende baner. Dette gir også en mulighet for å studere Titan ved de flere titalls passasjer som er planlagt. Cassini Orbiter har en spesiell radar som er utviklet i samarbeid mellom NASA og Italia. Telemetri og radarantenner er bygd sammen til en enhet, og over flere passasjer vil Titans landskap bli kartlagt. Det vil bli lagt stor vekt på å utføre denne kartleggingen, spesielt i området der Huygens-proben landet.

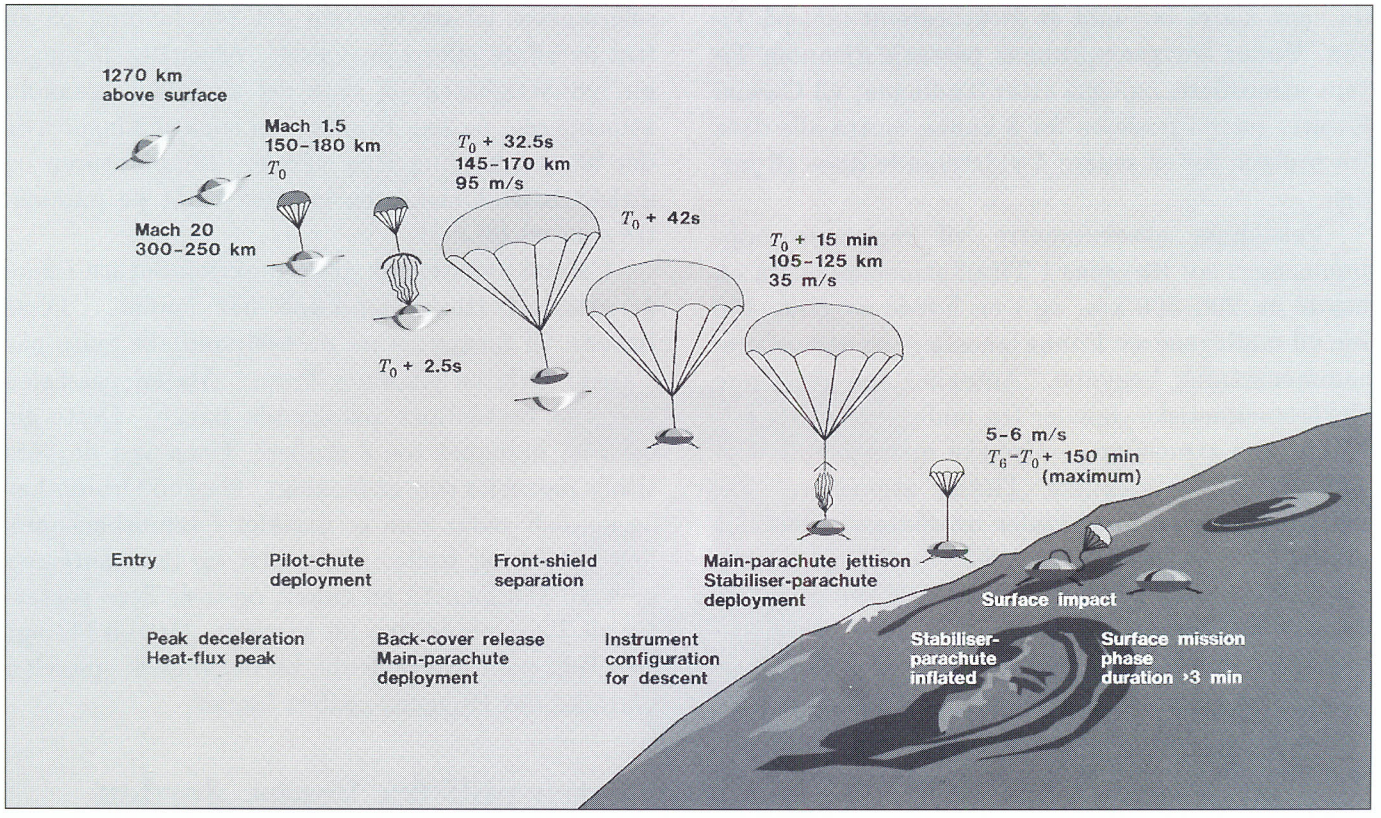
Ekstra puff fra Venus, Jorden og Jupiter

Cassini Orbiter og Huygens-proben veier til sammen over 5 tonn, og det finnes ingen rakett som er kraftig nok til å sende denne farkosten direkte til Saturn. (Halvparten av vekten utgjøres av brennstoff for å manøvrere i baner omkring Saturn.) Men allerede før Voyager ble det utviklet en teknikk der en romfarkost kunne gis en hastighetsøkning og en ønsket forandring i hastighetens retning, ved å la farkosten passere en planet. (Denne slyngeffekten oppnås naturligvis ved at planeten får en forsvinnende liten oppbremsing i sin bane.)

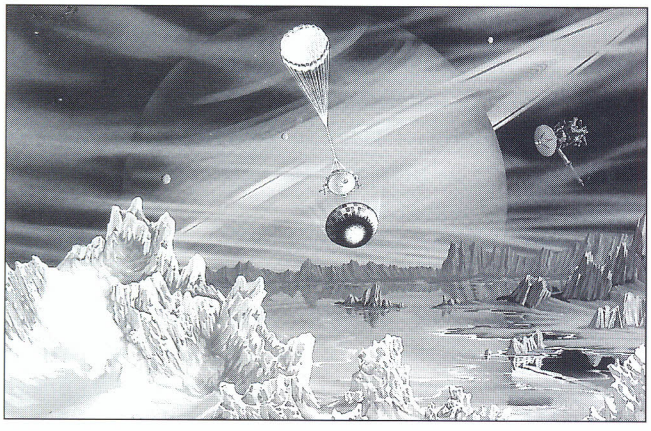
Cassini Orbiter må foreta et "planetært biljardspill" for å nå Saturn. Venus ble passert våren 1998 og en ny passering vil skje i juni i år. En passering av jorden vil skje i august. Deretter vil Cassini Orbiter være siktet inn for en passering av Jupiter, som skal gi det siste store puffet mot Saturn.

Passeringen av jorden vil skje i en høyde av 1200–1300 km. Etter passeringen av Venus i juni vil Cassini Orbiter være siktet inn mot passering av jorden i en avstand av cirka 20 jordradier, og deretter vil den gradvis bli manøvrert for en passering nærmere jorden. Demonstrert navigasjonsnøyaktighet ved Venus var ± 20 km, og risikoen for å komme inn i jordens tettere atmosfære er forsvinnende liten.

Særlig i USA har det vært argumentert mot at Cassini Orbiter skal passere jorden siden det



Figur 3. Prinsippskisse for oppbremsingen i Titans atmosfære hvor i alt tre fallskjermer vil bli brukt. Først vil en liten skjerm bremse proben og trekke ut hovedfallskjermen ved cirka 150 km høyde. Når proben har kommet ned til nærmere 100 km over bakken, vil hovedskjermen frigjøres, og en ny liten fallskjerm vil slippes ut for at proben skal gå hurtigere gjennom den tettere atmosfæren. Dette er nødvendig for at den skal kunne nå overflaten i det begrensede tidsrom en har for radiokontakt med Cassini Orbiter for overføring av data.



Figur 4. Fantasibilde som viser hvordan det kanskje vil ta seg ut når Huygens lander på Titan med Saturn i bakgrunnen.

er en elektrotermisk generator om bord basert på oppvarming av plutoniumdioksyd som avgir lavenergetiske alfapartikler (isotopen Pu 238 har 80 års halveringstid). Monte Carlo-beregninger har vist at sannsynligheten for å komme inn i jordens atmosfære på grunn av en serie av tekniske uhell, er mindre enn 10^{-6}. Skulle Cassini likevel brenne opp i jordens atmosfære, ville konsekvensene bli mikroskopiske sammenlignet med strålingen fra andre strålingskilder.

Det har vært argumentert for å bruke solceller på Cassini Orbiter, men dette er i praksis umulig. Den lave intensiteten på sollyset, én prosent av sollyset ved jorden, ville gjøre det nødvendig med enorme solpaneler som ville veie over ett tonn og ha slike dimensjoner at det ville være vanskelig å stabilisere satellitten.

Norsk deltagelse

Det har vært mulig for europeiske og amerikanske grupper å foreslå eksperimenter både på Cassini Orbiter og Huygens. Dette har ført til at Europa deltar på alle deler av dette store romprosjektet.

Forsvarets forskningsinstitutt på Kjeller, har i en årrekke deltatt i sivile romprosjekter og har utviklet ekspertise som har vakt internasjonal anerkjennelse. Dette har ført til deltagelse i et eksperiment på Cassini Orbiter som ledes av en amerikansk gruppe. I dette eksperimentet skal en måle tetthet av elektroner og ioner, og av ionenes masser i Sat-

urns magnetosfære. Tidligere målinger med Voyager viste at tette ioneskyer i magnetosfæren er et resultat av utgassing fra Saturns mange måner.

Forfatteren har i forbindelse med tidligere arbeid ved ESA deltatt i utviklingen av eksperimenter på Cassini Orbiter og Huygens; disse kan måle elektromagnetiske bølger og felt og kan også måle innslag av små støvpartikler. Dette siste er av spesiell interesse når Cassini Orbiter går gjennom Saturns ringplan.

Universitetet i Tromsø og Astrofysisk institutt ved Universitetet i Oslo, har også deltagere i internasjonale eksperimentgrupper på Cassini Orbiter. De bidrar med teoretisk arbeid og forbereder seg på å analysere nye data fra Saturn og Titan fra år 2004 og utover.

Informasjonsmateriale og nyheter om prosjektet finnes på Internett: *http://www.jpl.nasa/cassini/* og *http://sci.esa.int/huygens/*

Figurene er fra rapporter publisert av ESA og NASA.

∞

Fysikknytt

Dansk satellit i rummet

Med opsendelsen af mikrosatellitten Ørsted tog Danmark skridtet in i rumalderen. Satellitten blev oppsendt fra Californien med en amerikansk rakett den 23. februar 1999 i en polar bane med en højde over jorden mellem 620 til 850 km. Satellitten er 34 × 45 × 72 cm, vejer 61 kg og er forsynet med instrumenter, som kan måle magnetfeltet omkring Jorden med meget høj præcision. Desuden vil satellittens instrumenter måle den energirige partikelstråling i rummet omkring Jorden og bestemme atmosfærens temperaturprofil.

De videnskabelige formål for satellitprojektet er:

- Udforskning af strømsystemer i Jordens indre og kortlægning af magnetiske forhold i Jordskorpen, samt udforskning af strømsystemer i øvre atmosfære og magnetosfære.

Satellitten er udstyret med et *CSC flux-gate magnetometer* der kan måle retning og intensitet af det magnetiske felt. Dette instrument er stabilt indenfor 0.5 nT over flere dage. Det er bygget på Danmarks Tekniske Universitet.

Satellitten medbringer en *stjerne-kompas* til bestemmelse af satelittens og dermed magnetometrets orientering i forhold til fiksstjernerne. Det er nøjagtig indenfor 5 buesekunder (5/3600 grader). Også dette instrument er bygget på Danmarks Tekniske Universitet.

Endelig består instrumenteringen af et *Overhauser magnetometer*, der måler absolutværdien af intensiteten, men ikke retningen, af det lokale magnetiske felt med en nøjagtighed bedre end 0.5 nT. Formålet med dette instrument er at give en absolut kalibrering af CSC-instrumentet. Det er bygget i Grenoble og er financieret af det Franske Rumforskningsinstitut, CNES. De magnetiske måleinstrumenter er anbragt for enden af en 8 m lang bom, som var sammenrullet under opsendelse, og blev foldet ud efter at satellitten var korrekt placeret i sin bane.

- Undersøgelse af energirig partikkelstråling.

Satellittens *partikkel detektorer* måler flux af hurtige elektroner (0.03–1 MeV), og protoner (0.2–30 MeV), samt alfa-partikler (1–100 MeV). Dette intrument er bygget af Dansk Rumforsknings Institut.

- Målinger af atmosfærens temperaturprofil.

En *GPS modtager* bruges for at bestemme satellittens position. Samtidig anvendes dette instrument periodisk til at bestemme atmosfærens tryk, temperatur og fugtighed under satellitten. Dette kan gøres ved bestemmelse af radiosignalets afbøjning, hvorefter variationerne i atmosfærens brydningsindeks kan bestemmes. Instrumentet er bygget af Jet Propulsion Laboratory i California og er betalt af den Amerikanske Rumfartsorganisation, NASA.

Ørsted satellitten fik plads som gratis passager

ved opsendelsen af en amerikansk Argos satellit. Ørsted har længe været færdigbygget og klar til opsendelse. Efter planerne skulle dette være sket allerede i efteråret 1995, men store vanskeligheder blandt andet ved klargøringen af Argos satellitten har forsinket opsendelsen. Satellittens levetid er anslået til 14 måneder. Samtlige instrumenter fugerer fuldt tilfredsstillende. Ørsted projektet gennemføres i et samarbejde mellem danske virksomheder og forskningsinstitutioner. Projektet er støttet af det Danske Forskningsministerium, Industriministeriet, Trafikministeriet og det Danske Forskningsråd. Desuden har NASA, ESA og det Franske Forskningsråd, CNRS bidraget. Se endvidere http://www.dmi.dk/f+u/

Satellitten er opkaldt efter den danske videnskabsmand Hans Christian Ørsted (1777–1851), der var professor ved Københavns Universitet, grundlagde Polyteknisk Læreanstalt og startede geomagnetiske observationer i Danmark (se også Fra Fysikkens Verden No. 4, 1998).

Hans Pécseli

∞

Fysikk i Skolen

Science-sentre og rekruttering til realfagene

Rekrutteringen til realfagene opptar universitets- og skolefolk, politikere og industriledere i store deler av den vestlige verden. Her i Norge har vi hatt utredninger om realfagenes plass i utdanningssystemet. Sjøbergutvalget utredet naturfagenes stilling, og dets innstilling inneholdt mange forslag til tiltak. I matematikk har vi hatt en tilsvarende gjennomgang av MIS (matematikk i skolen)-utvalget. Tveitereidutvalget ble nedsatt av KUF for å fremme forslag til tiltak for å styrke rekrutteringen til realfagene. Deres innstilling har blant annet ført til at elever nå får fordypningspoeng dersom de tar realfag til topps i videregående skole.

Mangelen på rekruttering til realfagene har mange årsaker. En av årsakene bunner etter manges mening i folks generelle holdninger til realfag, og spesielt til fysikk og matematikk. Det er dokumentert gjennom undersøkelser i flere land at folk mangler interesse og forståelse for naturvitenskapene. Det er med bakgrunn i denne erkjennelsen at forskningsområdet Public Understanding of Science and Technolgy (PUST) har vokst fram internasjonalt. Norges forskningsråd har bl.a. gitt bevilgning til to stipendiater som arbeider med dette fagfeltet ved Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling ved Universitetet i Oslo.

Science-sentre (teknoteker eller vitensentre) vil kunne spille en viktig rolle i arbeidet med å øke interessen for naturfagene blant folk. Mens vi i Norge foreløpig bare har tre små science-sentre (Teknoteket i Oslo, Vitensenteret i Trondheim og Energiforsyningens Informasjonssenter ved Hunderfossen), så har Sverige 19, Finland 6 og Danmark 9 science-sentre (tall fra 1997). I de landene hvor det er flere science-sentre har disse etter hvert fått en viktig rolle i samfunnet. Særlig er sentrene viktige for skoler, fordi de underviser elever, gir opplæring av lærere og utvikler materiale til lærere og elever. Noen science-sentre er knyttet til museer, noen til universiteter og andre er frittstående institusjoner. Uansett tilknytning er det viktig at høy faglig kompetanse er knyttet til science-sentre, både innen naturvitenskapene og innen det fagdidaktiske feltet. Behovet for å opprette flere science-sentre i Norge er tatt opp i flere offentlige innstillinger, bl.a. i Tveitereidutvalgets innstilling (1997), i Kulturdepartementets rapport om feiring av tusenårsskiftet (1997) og i Norges forskningsråds rapport om formidling av forskning og vitenskap til barn og unge (1997). Dette viser at mange ser behovet for å bygge ut denne virksomheten i Norge.

Forskningsrådet har etter søknader fra flere miljøer, og ut fra sin egen strategiske satsning innen formidling, bevilget midler til forprosjekter slik at science-sentre kan bli etablert i alle universitetsbyene i første omgang. Som sagt, er Oslo og Trondheim allerede i gang, mens Bergen og Tromsø planlegger å etablere slike sentre. I Oslo planlegges ny lokalisering og en utvidelse av Teknoteket. Dette er en gledelig utvikling når vi vet hvor populære slike sentre er både blant barn og voksne, og hvilke muligheter for formidling og holdningsarbeid som ligger i dette konseptet. Norsk museumsutvikling samarbeider med forskningsrådet i dette forprosjektet.

Aktivitetene ved science-sentrene kjennetegnes ved at de er interaktive, det vil si at publikum skal *lære ved å gjøre*. Aktivitetene er tilrettelagt slik at

- publikum engasjeres i enkle eksperimenter, og kan utprøve tekniske innretninger

- publikum skal prøve og feile og få praktisk erfaring, og oppfordres til å tenke selv
- det skapes undring, og den enkelte må tenke over hvorfor og hvordan innretningene fungerer som de gjør

Bruk av IKT (informasjons- og kommunikasjonsteknologi) er svært vanlig i disse interaktive utstillingene. Den pedagogiske tilretteleggingen passer ofte for dem som ikke kan så mye fra før.

I den prosessen som er i gang med å utvikle science-sentre i Norge, ser jeg det som svært viktig at "alle gode krefter" støtter initiativene som tas. Etablering av science-sentre vil kunne bidra til å skape fornyet interesse for naturvitenskapene, ikke bare for å skaffe flere studenter til realfagene, men også for å få folk og myndigheter til å innse at naturvitenskapene er en viktig del av vår kultur. Det er viktig at universitets- og høgskolesektoren ser mulighetene for formidling av forskning gjennom slike sentre, og at de fagdidaktiske og pedagogiske miljøene ser mulighetene for forskning på denne typen formidling. Her er mye upløyet mark.

Vi hilser velkommen forskningsrådets positive respons på søknader og dets eget strategiske initiativ i denne sammenhengen.

Anders Isnes

∞

Bokomtaler

Matts Roos: Introduction to Cosmology, second edition. John Wiley & Sons, 1997 (226 sider), heftet $ 55,65.

Når makrokosmos og mikrokosmos møtes

Vitenskapelig kosmologi var lenge nærmest en matematisk disiplin basert på Einsteins feltlikninger. Men i de tidlige 1980-årene mistet kosmologien sin uskyld til partikkelfysikken. Teorier ble lansert som tok sikte på å forene elektromagnetisme med de svake og sterke vekselvirkninger fra elementærpartiklenes verden. Andre teorier som supergravitasjon og strengteori, tok til og med sikte på å inkludere gravitasjon.

Men selv om disse altomfattende teoriene baserte seg på elegante, matematiske symmetrier, var de ikke uten lyte. Teorier må nemlig sjekkes med virkelighetens verden og konfronteres med naturens egen nådeløse fasit. De nye teoriene vil først gjøre seg gjeldene når energitettheten er så stor at eksperimentalfysikerne aldri kan ha noe håp om å skape disse fysiske forholdene.

Nå forteller Einsteins generelle relativitetsteori at i tiden nær universets fødsel, i det såkalte "Big Bang", må tetthet, trykk og temperatur ha vært enorme. Her fant partikkelfysikerne fruktbar grunn. Derfor må en skikkelig kosmolog nå beherske både gravitasjonsteori, termodynamikk og partikkelfysikk, og dessuten ha solid kunnskap om innholdet i disse nymotens superteoriene.

Matts Roos har nå kommet med ei ny utgave av sitt meget omfattende introduksjonsverk til kosmologien. Jeg synes kvaliteten på boka er ganske ujevn. Det vitner om pedagogisk innsikt at forfatteren gir leseren et møte med newtonsk gravitasjon og kosmologi før han gyver løs på Einsteins teori for gravitasjon. Avsnittet om metrikk-avstander i tidrommet er nesten forførende vakkert framlagt. Men det vanskelige horisontbegrepet burde vært behandlet i mer detalj. En henvisning til Rindlers klassiske arbeid hadde her vært på sin plass.

Her finnes også ren sjusk slik som at et par likningshenvisninger på side 28 er feil, og henvisningen på side 161 skulle vært til 4.63, ikke 4.62. Og i avsnittet om kovariansprinsippet benyttes den greske bokstaven delta både som summasjonsindeks og som det matematiske symbolet "Krönecker"-delta i en og samme likning. Men det er mye mer alvorlig at forfatteren her avslører at han slett ikke behersker elementær tensorregning. Han påstår nemlig at koordinatene transformerer på samme vis som differensialene. Han skal heller ikke slippe unna med troen på at kontravariante og kovariante komponenter til en tensor er inverse. Han plasserer den ene uten videre i nevner fra et summasjonsuttrykk. Når han enn videre setter opp Newtons gravitasjonslov på vektorform, glemmer han både enhetsvektor og fortegn.

Men her er mye å glede seg over. Behandlingen av kosmologiens fundamentale basis, selve Friedmann-likningene, er klar og lærerik. Likningene og diagrammene som framkommer i avsnittet om dynamiske parametre, vil også være meget nyttig kunnskap for den som vil følge diskusjonen av observasjonsmaterialet i moderne kosmologi. For observasjonene tyder faktisk på at det virker en frastøtende kraft i kosmos, selv om selveste Einstein forkastet dette leddet i likningene sine. Men Matts

Roos forteller hvorfor dette leddet er lite, og at universet må ha en endelig alder hvis det alltid har vært behersket av materie og stråling.

De to kapitlene om termodynamikk i det tidlige univers med dannelse av lette elementer og kosmisk bakgrunnsstråling er meget velskrevet. En trenger ikke mye bakgrunn i statistisk mekanikk og partikkelfysikk for å følge argumentasjonen her.

Men Roos har et irriterende sjusket forhold til vitenskapshistorie. Det var uregelmessigheter i banen til Uranus, ikke Jupiter, som førte til oppdagelsen av planeten Neptun. Det var heller ikke Roger Penrose som fastslo at "svarte hull har ikke hår". Det var John Wheeler som uttrykte seg slik.

Det er særdeles kjedelig at Roos sier at et evig ekspanderende univers er åpent, og at et univers med rekontraksjon er lukket. Sammenblandingen stammer antagelig fra den tidlige diskusjonen av newtonsk kosmologi da tre-dimensjonal, krummet romgeometri ikke var på plass, men åpne og lukkede universmodeller likevel ble definert. Enhver som har lest elementær differensialgeometri, vet at lukkede univers har positiv geometrisk krumning, mens åpne univers har negativ krumning, eller er flate. Terminologien til Roos er forvirrende, ikke klargjørende. Der finnes lukkede universmodeller som er evig ekspanderende, og der finnes åpne universmodeller som i en fjern framtid vil begynne å trekke seg sammen.

Avsnittet om partikkelfysikk og symmetri kan bare tjene som en hensiktsmessig oversikt for dem som allerede har god kunnskap om dette emnet. Andre vil neppe kunne benytte disse utlegningene som oppskrift for aktivt virke. Til gjengjeld skriver Roos godt om strukturdannelse. Dette er et meget usikkert tema, og innføringen til Roos er rimelig enkel. Han gir et lettfattelig argument forat perturbasjoner i vanlig materie ikke kan ha gitt opphav til galaksene. Det må finnes store mengder eksotisk materie i universet.

Jeg synes læreboka til Roos er vel kortfattet til tross for at den på sett og vis er omfattende. Av og til kan den virke underlig springende og omtrentlig. Men den som er villig til å bære over med visse svakheter, har særdeles mye verdifullt å hente fra disse sidene. Boka vil forhåpentligvis virke som inspirasjonskilde for videre studium.

Henning Knutsen

∞

Marc Lachièze-Rey: Cosmology: a first course. Cambridge University Press, 1995 (136 sider), ISBN 0521 479665, heftet $20,95.

En smak av kosmologi

Kosmologi er en særdeles spesiell vitenskap. Andre naturvitenskaper prøver på hvert sitt område å finne mønstre og lovmessigheter i et sant virvar og mangfold av eksperimenter og observasjoner. Men kosmologien studerer bare ett eneste objekt: universet som helhet. Hvordan kan vi snakke om noen lov når vi kun har ett fenomen?

Kosmologien fikk da også først status som egen vitenskap da Einstein kom med sin teori for gravitasjon: den generelle relativitetsteori. Grunnlikningene i denne teorien forteller at det er en sammenheng mellom materiefordelingen i universet og geometrien som beskriver tid og rom. Det viser seg faktisk at denne teorien forutsier det som uten tvil er er den største astronomiske oppdagelse i vårt århundre, nemlig at universet som helhet ikke er noe evig, uforanderlig system, men forandrer seg i stor skala over tid.

Det er en ganske vanskelig oppgave å gi en kortfattet, kvantitativ oversikt over de mange emner som har relevans for kosmologien. Men Lachièze-Rey gjør likevel et tappert forsøk i boka "Cosmology: a first course". Jeg synes resultatet er blitt ei bok som er ganske ujevn hva kvalitet angår. Men selv om mange lesere uten bakgrunn utvilsomt vil ha store vansker med å følge argumentasjonen, så vil de muligens sitte igjen med en følelse av hva slags problemer kosmologien beskjeftiger seg med.

Jeg skal villig innrømme at jeg kan være litt for vant med tankegangen og begrepene i kosmologien til å gripe vanskelighetene som møter novisene. Ubevisst fyller jeg kanskje på med assosiasjoner når forfatteren lanserer nye begreper. Men jeg la i alle fall merke til at Lachièze-Rey på side 51 begynte å skrive om den såkalte kosmologiske konstanten uten å fortelle om historisk bakgrunn og fysisk representasjon for dette leddet. For en fersk leser må vel dette representere et merkelig mysterium.

Et liknende mysterium finner jeg på side 66. Her blir vi fortalt at det er meningsløst å gå bakover i tiden like til universets "fødselsøyeblikk". En må gi opp ved den såkalte Planck-tiden på 10^{-43} sekunder. Men hva slags fysisk betraktning som ligger til grunn for begrepet Planck-tid forteller ikke Lachièze-Rey. En enkel omtale av teorien for svarte hull og usikkerhetsprinsippet fra kvantemekanikken ville nok fått leseren til å forstå at relativitetsteorien

ikke kan beskrive tiden så nær "skapelsen".

Men forfatteren har virkelig fått med ganske mye vesentlig stoff på så få sider. Viktige likninger som gir tidsutviklingen av geometrien til universet, blir behørlig behandlet. Forfatteren har også en ganske brukbar kronologisk oversikt over hva slags fysiske forhold som rådde etter hvert som universet utviklet seg over tid.

Men i omtalen av det første trinnet i de kjernereaksjoner i det tidlige univers som gir deuterium, begår forfatteren en solid feil. Han påstår nemlig at kollisjoner mellom protoner og nøytroner også er energikilden til lyset fra stjernene. Det første trinnet i reaksjonene i solas hete sentrum er jo kollisjoner mellom protoner.

Jeg synes nok også forfatteren kunne spandert noe mer plass på omtalen av horisont-begrepet i kosmologien, for dette begrepet har virkelig vært beheftet med stor forvirring. Det såkalte inflasjonsuniverset som langt på veg representerer en ren revolusjon innenfor kosmologisk tankegang, blir også ganske stemoderlig behandlet. Vi får vite at det løser viktige problemer for den klassiske kosmologien. Men vi får ikke vite at disse problemene var hvorfor universet er omtrent flatt, og hvorfor universet er så likt i alle mulige retninger.

Til gjengjeld ofrer Lachièze-Rey hele 24 sider av sine 128, på å fortelle om de meget usikre teoriene for strukturdannelse i universet. Jeg tør gjette på at han har bedrevet aktiv forskning på dette området. Men dette kapitlet er langt fra velskrevet. Jeg hadde vanskeligheter med å se hvor liknigene kom fra, og jeg syntes det fysiske innholdet i begrepene var vanskelig å fatte. Forfatteren er da heller ikke snauere enn at han på sidene 111 og 117 presenterer nettopp den samme proporsjonalitetsrekken heller enn å henvise tilbake. I dette emnet er han absolutt best når han nøyer seg med en kvalitativ beskrivelse av fysikken. En uerfaren leser trenger nok mye mer bakgrunn i klassisk hydrodynamikk enn det Lachièze-Rey serverer. På side 12 støtte jeg faktisk på sannsynlighet med benevning. Slik slurv gir ikke tillit.

Hva jeg virkelig savner her, er ei liste med henvisning til mer grundig og avansert litteratur. Da kunne jo den interesserte leser hatt anledning til å fordype seg i de emner som denne forfatteren bare behandler overfladisk og skjødesløst. Men som støttelitteratur, tror jeg boka til Lachièze-Rey kan ha sin misjon.

Henning Knutsen

∞

Pehr Sällström: Färglära på datorn. Kosmos forlag, 1999 (88 sider). Pris inkl. lisens: SEK 300,–, reduksjon for klassesett.

Pehr Sällström, docent ved Fysikum, Universitetet i Stockholm, har her levert en innføring i PC-skjermens farvesystem, samt grunnleggende egenskaper ved menneskets farvesyn, som kan demonstreres ved hjelp av et interaktivt dataprogram.

Av bokens temaer kan nevnes:

PC-skjermens farvesystem. Skjermens tre primærfarver, og deres tilhørende RGB-farverom. Prinsippene for additiv og subtraktiv farveblanding. Farveefterligning ved hjelp av skjermprimærene. PC-skjermen anvendt som kolorimeter.

Konplementærfarver. Med utgangspunkt i et hvitt og et sort billedfelt, kan man frembringe fysiske komplementærfarver som kan realiseres innenfor skjermens RGB-rom. De relative andeler av primærene fremkommer samtidig som tall på skjermen. Farvete efterbilder (suksessiv kontrast) på variabel bakgrunn.

Farveinduksjon (simultan kontrast). Bakgrunnens betydning for fornemmelsen av grått og brunt. Grensekontrast, florkontrast, spredningseffekt. Forvekslingslinjer i RGB-diagrammet for to vanlige former for farveblindhet.

Forskjellige kolorimetriske emner: Farvetonesirkelen og kromatisitetsdiagrammet. De begrensninger som følger av at skjermfarvene er begrenset til RGB-rommet, blir demonstrert og drøftet. At farvene på PC-skjermen kan varieres relativt kontinuerlig, gir grunnlag for instruktive forsøk. Men et viktig kjennetegn ved PC-monitoren er også at dens RGB-rom er fattigere på farvenyanser enn de klassiske demonstrasjonsplansjene, for så vidt som disse ofte anvender pigmentfarver som ikke kan efterlignes ved hjelp av skjermprimærene.

På et felt som ofte blir avfeiet med et intetsigende utsagn om at "hvitt lys er en blanding av farvete lys", gir Sällströms fremstilling et godt grunnlag for selvstudium så vel som for elevforsøk og videregående laboratorieforsøk med hensyn på øyets vekselvirkning med sine omgivelser.

En demoversjon av programmet kan hentes fra forlagets hjemmeside: *http://www.kosmos-forlag.nu*

Torger Holtsmark

∞

Nye Doktorer

Lisbeth Bergholt

Cand.scient. Lisbeth Bergholt disputerte 30. oktober 1998, for dr.scient.-graden ved Universitet i Oslo med avhandlingen *Studies of Nonstatistical Features of Nuclei in the Rare Earth Region.*

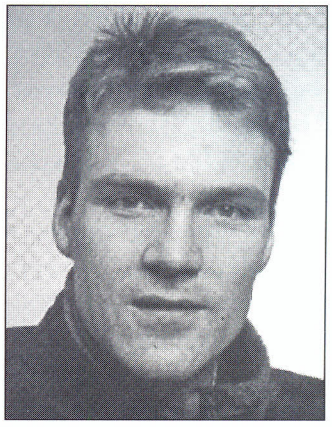
Ved lav indre energi kan atomkjernen beskrives som et ordnet system der protonene og nøytronene går i baner inne i kjernen. Etter hvert som energien øker, antar man at atomkjernen får en mer kaotisk indre struktur. I forbindelse med doktorarbeidet er det eksperimentelt påvist flere fenomener som indikerer at atomkjernen har en ordnet indre struktur selv ved langt høyere energi enn det som tidligere har vært antatt.

I eksperimentene blir tunge atomkjerner ($\sim$ 160 nukleoner) tilført energi ved at de bombarderes med ^{3}He-kjerner. Denne typen reaksjon gir en økning i de enkelte nukleonenes kinetiske energi, mens lite energi går til rotasjon av kjernen som helhet. Etter sammenstøtet vil kjernen kvitte seg med energi ved å sende ut en α-partikkel, nøytroner og γ-stråling. Strålingen registreres i detektorer, og dette gir oss informasjon om atomkjernens struktur.

Doktorgradsarbeidet ble utført ved Syklotronlaboratoriet, Universitet i Oslo, med finansiering fra Norges forskningsråd.

∞

Stein Egil Håland



Cand.scient. Stein Egil Håland disputerte 4. desember 1998 for dr.scient.-graden ved Universitetet i Bergen, med avhandlingen *Energetic Particle Signatures of Reconnection and Flux Rope Formation in the Magnetotail.*

Temaet i avhandlingen er knyttet til prosesser i det jordnære verdensrommet som blant annet forårsaker nordlysutbrudd. Slike prosesser – kalt stormer og substormer – kan i visse tilfeller også påvirke de elektroniske systemene i satellitter.

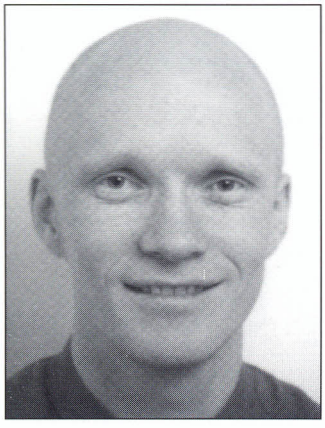
Forskningsarbeidet som ligger til grunn for avhandlingen er en del av et samarbeidsprosjekt mellom institusjoner i Tyskland, Japan og USA hvor en forsøker å kartlegge energioverføringen fra solen til jordens magnetosfære og videre til ionosfæren. Magnetiske stormer og substormer utgjør en viktig del av denne energioverføringen.

I arbeidet har en blant annet benyttet partikkeldata og magnetfeltdata fra GEOTAIL-satellitten for å kartlegge kildeområdet og mekanismene bak magnetosfæriske substormer. Resultatene som presenteres i Hålands avhandling viser at mange substormer kan relateres til sammensmelting av magnetfeltlinjer i magnetosfæren.

Stein Egil Håland har utdanning som ingeniør i medisinsk teknikk og avla cand.scient.-eksamen i romfysikk ved Universitetet i Bergen i 1994. Doktorgradsstudiet er gjennomført ved Fysisk institutt, UiB, med stipend fra Norges forskningsråd. Professor Stein Ullaland var veileder.

∞

Ole Martin Løvvik



Cand.scient. Ole Martin Løvvik forsvarte i juni 1998 sin avhandling *Hydrogen on a Palladium Surface: Potential Energy Surfaces and Quantum Dynamical Calculations*, for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo.

Studiet av hydrogen på metalloverflater kan motiveres fra en lang rekke anvendelser, og er også akademisk interessant på grunn av kvanteeffekter i dynamikken til hydrogenatomet. I de siste årene har dessuten utvikling av raske maskiner og effektive programmer gjort det mulig å sammenligne eksperimenter og kvantitative forutsigelser.

Avhandlingen beskriver numeriske studier av hvordan et hydrogenmolekyl oppfører seg når det kommer i kontakt med palladium, med spesiell vekt på bevegelse inn i metallet. Det har tidligere vært antatt at hydrogenmolekyler først adsorberes på overflaten før de trenger inn i metallet ved termisk diffusjon. Resultater fra avhandlingen tyder imidlertid på at en del hydrogen trenger direkte inn i metallet. Denne prosessen kan være viktig for den høye reaktiviteten til palladiumoverflaten, og kan få betydning for å kunne påvise andre materialer med like gode egenskaper.

Elektrontettheten er blitt funnet ved hjelp av tetthetsfunksjonalteori. Dette gir opphav til en potensiell energiflate som avhenger av samtlige frihetsgrader. Dynamikken finnes så ved å løse den tidsavhengige schrödingerligningen for hydrogenatomene numerisk. Beregningene er utført dels ved tungregnesenteret i Trondheim, og dels ved et tilsvarende senter i Amsterdam.

Ole Martin Løvvik ble utdannet cand.scient. ved UiO i 1993. Doktorgradsarbeidet har vært utført ved Fysisk institutt, UiO, i nært samarbeid med en gruppe ved Vrije Universiteit, Amsterdam.

∞

Barbra B. Noodt

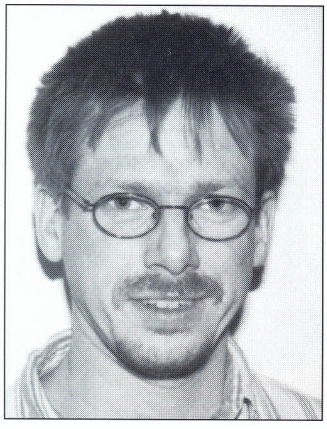
Barbra B. Noodt forsvarte avhandlingen *Photodynamic therapy-induced apoptosis and DNA damage* graden Doctor philosophiae ved Universitetet i Oslo, den 10. desember 1998.

Avhandlingen viser at fotodynamisk behandling dreper kreftceller ved å få dem til å begå selvmord, såkalt apoptose. Enkelte kreftcelletyper har mistet evnen til å drepe seg selv, og da er større doser nødvendig for å ødelegge dem. Overlevende celler kan få indusert varige genetiske skader, mutasjoner, med enkelte typer fotodynamisk behandling, mens andre typer lager svært få slike skader. Mutasjoner øker risikoen for kreftutvikling i annen omgang som følge av behandlingen. I fotodynamisk behandling blir celler drept av synlig lys etter at de har tatt opp fargestoffer som aktiveres av lyset. De aktiverte stoffene skader cellestrukturer bare på kort avstand og ble benyttet til å undersøke hvor i cellene selvmordsreaksjonen blir utløst. I en selvmordsreaksjon bryter cellen selv ned innholdet sitt, og cellene deles opp i små poser som fordøyes av nabocellene. Det ble vist at ulike deler av prosessen kan foregå uavhengig av hverandre og utløses forskjellige steder i cellene. Resultatene er viktige for å kunne forbedre fotodynamisk kreftbehandling, og bidrar til bedre forståelse av selvmordsprosessen i cellene. En sentral metode i arbeidet var flowcytometri.

Arbeidet ble utført ved Det Norske Radiumhospital, ved avdelingene for patologi og biofysikk, og Noodt fortsetter arbeidet samme sted.

∞

Øyvind Overrein



Sivilingeniør Øyvind Overrein har disputert for dr.scient.-graden ved Universitetet i Tromsø med avhandlingen *Characterization of Vessels and Vessel Generated Surface and Internal Waves Using Multistatic Multlifrequency Radar System.*

Avhandlingen tar for seg beskrivelse av forskjellige bølgefenomener på havet laget av skip. Bølgene beskrives ved hjelp av et multistatisk og multifrekvent radarsystem, dvs. et radarsystem med adskilte sender- og mottakerantenner, og som sender på flere frekvenser.

Avhandlingen gir en inngående beskrivelse av radarsystemets muligheter, og presenterer en analyse av bølgemålinger som ble gjort med radarsystemet i Sognefjorden i 1995. I analysen er noen nye signalanalysemetoder tatt i bruk for å påvise bølgefenomenene og for å undertrykke støy. Metodene bidrar til å øke radarens potensial som havovervåkningsinstrument.

Øyvind Overrein ble utdannet sivilingeniør ved Institutt for fysikk, Universitetet i Tromsø i 1992, og har deretter vært ansatt som forsker ved Susar AS i Oslo. Han har vært dr-scient.-student ved Institutt for fysikk, UiT. Doktorgradsarbeidet ble finansiert av Norges forskningsråd og Susar AS.

∞

Ole Myren Røhne

Cand.scient. Ole Myren Røhne disputerte 28. sept. 1998 for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo, med avhandlingen *Decay Parameters of the* B_s^0 *Meson in the Inclusive* ϕl^+ *Channel.* Avhandlingen er et bidrag til den verdensomspennende aktiviteten for å teste riktigheten av Standardmodellen, og resultatene er i full overensstemmelse med teoretiske forutsigelser og tidligere målinger.

Man kan tenke seg at et B_s^0-meson består av en lett kvark og en tyngre antikvark. Ved å studere tidsavhengige partikkel/antipartikkel-oscillasjoner i dette systemet, kan man skaffe seg informasjon om grunnleggende forhold i naturen. I overensstemmelse med andre målinger på samme system, er det funnet at oscillasjonene foregår for hurtig til at man kan observere tidsavhengigheten med dagens målenøyaktighet.

Standardmodellen for partikkelfysikk er det viktigste teoretiske grunnlaget for eksperimentell aktivitet innen fagfeltet. Modellens beskrivelse av elementærpartiklene og deres vekselvirkninger har til nå vist seg å være i perfekt overensstemmelse med målingene. Man regner imidlertid med at modellen egentlig er en tilnærmelse med begrenset gyldighetsområde. Det viktigste målet for moderne partikkelfysikk er derfor å finne avvik fra Standardmodellen som kan gi informasjon om en enda mer fundamental beskrivelse av naturen.

Doktorarbeidet er utført ved Fysisk institutt, UiO, i tilknytning til DELPHI-eksperimentet ved CERN, med professor Torleiv Buran som veileder.

Ole Myren Røhne er nå post.doc. ved Norges forskningsråd (ATLAS-prosjektet) med arbeidssted Fysisk istitutt, UiO.

∞

Elin Steinsland

Elin Steinsland forsvarte avhandlinga *Characterisation of crystalline silicon for micromachining. – In situ measurements of silicon tech rates – Temperature dependence of the elastic constants of silicon* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo, 28. mai 1998.

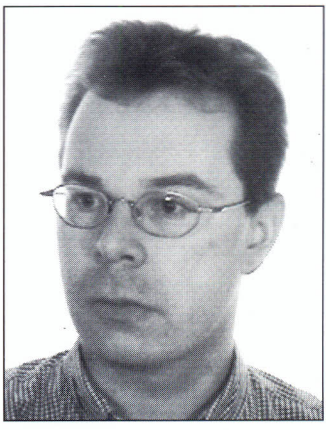
Miniatyriserte mekaniske følarar basert på silisium mikroteknologi, finn stadig fleire bruksområde innan sikringsutstyr i bilar, medisin og helse, og overvaking av miljøgifter. Følarane kan massereproduserast ved å nytta mange av produksjonsprosessane som er utvikla for elektronikkindustrien.

I denne avhandlinga er det arbeidd med etsing av silisium, som er ein nøkkelprosess innan framstilling av silisiumfølarar, og med karakterisering av elastisiteten til silisium ved hjelp av vibrerande strukturar etsa i silisium. Målet med arbeidet er å kunna laga meir nøyaktige og betre følarar gjennom betre kontroll med etseprosessen, og få meir kunnskap om temperaturverknaden på silisium. Det er utvikla ein eksperimentell metode for nøyaktige målingar av etserater som gjer det mulig å knyta endringar i fysiske parametrar, som temperatur og samansetning av etsevæska, direkte til endring av etseraten. Måleoppsettet er nytta til å måla etserater i ei relativt ny etsevæske som er kompatibel med vanlege produksjonsprosessar for integrert elektronikk.

Det eksperimentelle arbeidet er utført ved Fysisk institutt, UiO, Avdeling for mikrosystem, SINTEF, og University of Neuchâtel, Sveits. Rettleiarar har vore professor Terje Finstad, UiO, og sjefsforskar Anders Hanneborg, SINTEF.

∞

Thomas Walmann



Thomas Walmann forsvarte sin avhandling *Dynamics and Scaling Properties of Fractures in clay-like Materia* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo, 27. februar 1998.

Temaet er relasjoner mellom sprekker (forkastninger) og egenskaper til sprekker i systemer hvor flere sprekker vokser samtidig. Sammenhengene og egenskapene er studert ved hjelp av labortorieeksperimenter med leirematerialer og pulvere.

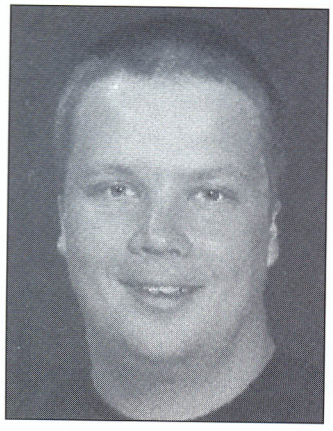
Sprekksystemer hvor vekselvirkningen mellom sprekkene er viktig, forekommer innen mange områder og på mange skalaer. Dette arbeidet konsentrerte seg om sprekker i storskalasystemer slik som olje- og vannreservoarer. Metoder fra fraktalgeometri og statisk fysikk er benyttet til å karakterisere og analysere sprekkmønstrene.

Fra seismiske undersøkelser av oljereservoarer og andre geologiske feltstudier, har en funnet en potenslovsammenheng mellom hyppigheten og størrelsen av sprekkene. Sprekkmønstrene i eksperimentene viser imidlertid ikke en slik oppførsel. Derimot kunne forskyvningen langs forkastningsplanet sett i forhold til lengden og variasjoner i bevegelsen til sprekkene sideveis, beskrives med potenslover. Resultatene stiller spørsmålstegn ved mange av dagens oppfatninger av egenskaper til sprekksystemer.

Arbeidet er utført som en del av virksomheten knyttet til programmet for Kooperative fenomener ved Fysisk institutt. Walmann arbeider videre ved instituttet knyttet til et nytt prosjekt for studier av gassutskillelse fra væsker i porøse medier.

∞

Øivind Wikstøl



Cand.scient. Øivind Wikstøl forsvarte 9. jan. -99, sin avhandling *On the Dynamics in the Solar Transition Region* for dr.scient.-graden ved Universitetet i Oslo. Arbeidet er utført ved Institutt for teoretisk astrofysikk og ved High Altitude Observatory i Boulder, Colorado.

Dette er den første doktoravhandlingen i Norge hvor det er benyttet data fra solobservasjonssatellitten "SOlar and Heliospheric Observatory" (SOHO). En av målsetningene med SOHO er å finne ut hvorfor de ytre lagene av solens atmosfære, koronaen, har temperaturer på over 1 million grader når overflatetemperaturen bare er ca. 6000 grader. Solens magnetfelt står sentralt i å transportere energi fra den synlige overflaten og opp i koronaen hvor den magnetiske energien overføres til varme.

Avhandlingen bygger på en idé om at de mekanismene som varmer opp koronaen vil eksitere magnetiske bølger og lydbølger. Når disse forplanter seg gjennom solatmosfæren aksellereres gassen til store hastigheter. Dette vil medføre at den ultrafiolette strålingen fra koronaen vil variere. Slike variasjoner kan observeres med SOHO.

Wikstøl har konstruert dataprogrammer som simulerer hvordan ulike typer av bølger påvirker strålingen fra koronaen. Disse simuleringene er sammenlignet med SOHO-observasjoner. Resultatene tyder på at små eksplosjoner, nanoflares, foregår høyt oppe i solatmosfæren, og at disse er den dominerende mekanismen i oppvarmingen av koronaen. I områder med svakere magnetfelt, er det funnet tegn på at det er lydbølger fra fotosfæren som dominerer energitransporten.

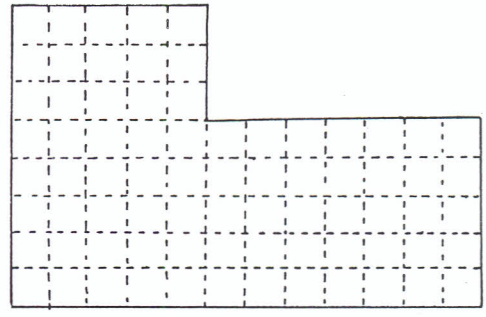
Arbeidet er utført i samarbeid med førsteamanuensis Viggo Hansteen og professor Mats Carlsson, med professor Per Maltby som hovedveileder. Øivind Wikstøl er nå ansatt ved Forsvarets overkommando.

∞

Trim i FFV

FFVT 2/99

a) En sjokoladeplate av form som på figuren brekkes opp langs linjene, en linje av gangen, helt til en til slutt får bare enkeltbiter. Hva er det minste antall brekk som må til?



b) N fotball-lag spiller cup. Dessverre er N ikke en potens av 2, slik at det ikke er trivielt å sette opp cuprundene. Angi en formel for antall kamper som må spilles før cupvinneren er klar. (Som vanlig i cup spilles hver kamp til en vinner er kåret.)

Løsning FFVT 1/99

a) Problemet var følgende: Du vet at to konvolutter er blitt fylt med penger ved at først er et visst beløp blitt lagt i den ene konvolutten (nedenfor kalt konvolutt 1), deretter er det blitt slått mynt eller krone om det skal legges det halve eller det dobbelte beløp i den andre konvolutten. Du har fått en av disse konvoluttene, tilfeldig valgt.

Du tilbys deretter å bytte konvolutt. Siden du vet at innholdet i den andre konvolutten er, med lik sannsynlighet, $2S$ eller $\frac{1}{2}S$, der S er beløpet i din konvolutt, er det forventede beløp etter byttingen lik

$$0,50\left(2S+\tfrac{1}{2}S\right)=1,25S$$

større enn S. Bør du bytte?

Det tilsynelatende paradoksale er at mens ovenstående regning tilsier bytte, så sier sunn sans at den ene konvolutten er like god som den andre, slik at det forventede utbytte burde være uavhengig av om du bytter.

Og sunn sans har rett. Det er basis for sannsynlighetsberegningen som er gal. En korrekt beregning kan gjøres slik: Du har med sannsynlighet 0,5 fått konvolutt 1 med beløpet B, og i så fall vil den forventede gevinst ved å bytte bli $0,25B$, etter samme beregning som ovenfor. Men det er like sannsynlig at du har fått konvolutt 2, som vil inneholde $2B$ eller $\frac{1}{2}B$ med lik sannsynlighet. I det første tilfellet vil du ved bytting tape beløpet B, og i det andre tilfellet vil du vinne $\frac{1}{2}B$. Siden disse mulighetene er like sannsynlige, vil det forventede *tap* ved bytteprosessen være $0,25B$. Siden den forventede gevinst i det første tilfellet er like stor som det forventede tap i det andre tilfellet, kan du ikke maksimalisere dine sjanser ved å bytte.

Faren i oppgavetekstens beregning ligger i å bruke samme symbol S for beløpet i den konvolutten du får, uansett om det er konvolutt 1 eller 2.

Underlig nok har et slikt enkelt problem gitt opphav til flere publikasjoner i matematisk litteratur (se F.T. Bruss, *The fallacy of the two envelopes problem*, Math. Scientist **21**, 112–119, 1996).

b) Spørsmålet var hvorfor fordypningene på overflata av en golfball øker maksimallengden i et slag betydelig.

Overflata er laget slik for at lufta skal dras med ved rotasjon av ballen. Dersom ballen roterer (om en akse normalt på fartsretningen), vil lufthastigheten relativt til ballens sentrum da være større på den ene siden av ballen enn på den andre. Og der lufthastigheten er stor er trykket lavt, ifølge Bernoullis lov. Trykkforskjellen vil drive ballen på tvers av slagretningen, *oppover* dersom slaget gir golfballen rotasjon i gunstig retning. Dette ekstra løftet kalles ofte Magnus-effekten. I andre ballsporter som tennis og fotball, er det som regel viktigere å få til en overraskende *sidelengs* drift.

Eksperimenter med maskinell golfkølle viser at golfballer med ujevn overflate går svært mye lenger, opp til en faktor 3 lenger, enn baller med glatt overflate (J.M. Davies, *The aerodynamics of golf balls*, J. Applied Phys. **20**, 821–828, 1949).

∞

Hva skjer

Rondablikk-seminaret 1999

Seminar i kondenserte fasers fysikk og kjemi vil bli holdt på Rondablikk Høyfjellshotell 16–18. september. Møtet begynner torsdag med lunsj og varer til lørdag ettermiddag.

Nytt av året er to parallelle sesjoner for de korte seminarene. Vi legger opp til et bredt program, og styret vil oppmuntre forskningsgruppene til å la viderekomne doktorgrads-studenter få presentere gruppens og sitt eget arbeid i et videre perspektiv. Disse foredragene kan etter en nærmere vurdering få tildelt 20–30 minutter i en plenumssesjon. Blant de inviterte foredragsholderne er:

Yoseph Imry, Weitzmann institute, Israel
Boris Shklovskii, University of Minnesota, USA
Anne Borg, NTNU
Jens Feder, Universitetet i Oslo
Jörg Schmalian, Rutherford Appleton Laboratory, England

Påmelding innen 25. august til: Unni Oxaal, Institutt for tekniske fag, NLH, Pb 5065, 1432 Ås, E-post: unni.oxaal@itf.nlh.no Fax: 64 94 86 83, Tlf: 64 94 87 37.

∞

Solformørkelse i Norge 11. august

Almanakk for Norge 1999, forteller at det blir en total solformørkelse den 11. august som blir synlig som partiell i Norge. "Timeplanen" er:

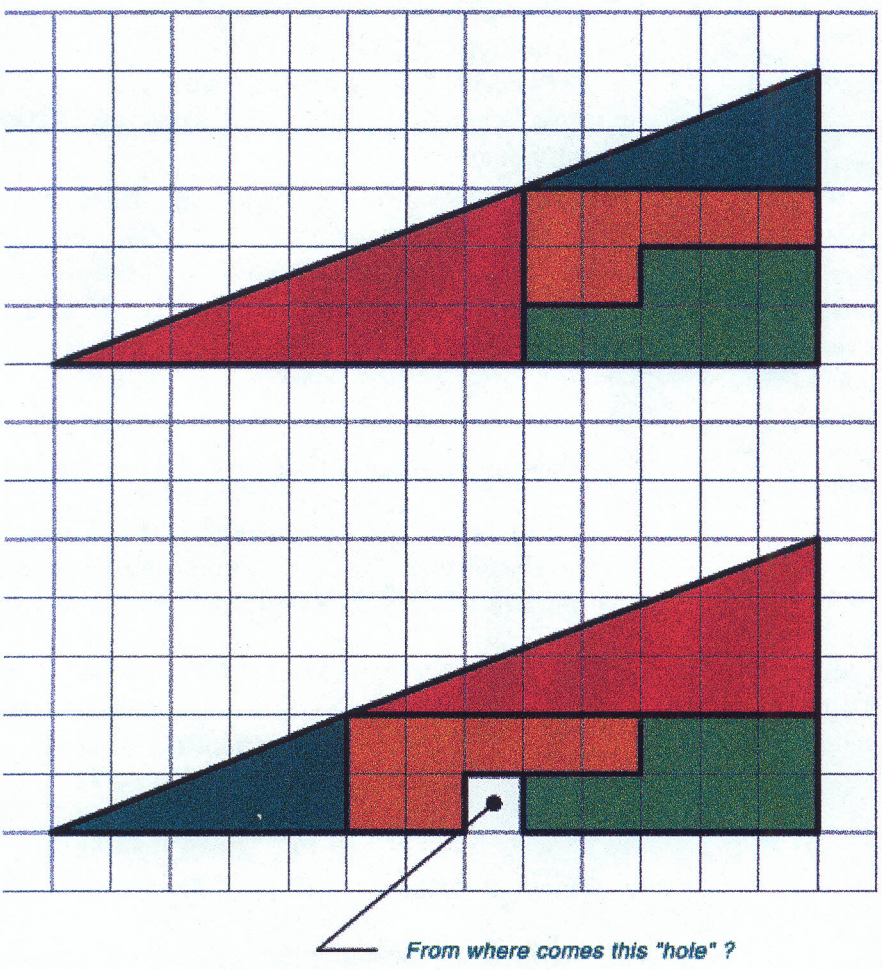
Sted	*Fra*	*Maks.*	*Til*	*Dekning av soldiameter*
Oslo	11.24	12.35	13.46	72 %
Bergen	11.19	12.29	13.40	72 %
Trondheim	11.28	12.35	13.42	64 %
Tromsø	11.43	12.42	13.40	48 %
Kirkenes	11.52	12.50	13.46	45 %

Se videre Forskning og Framsteg 4/99, hvor det også gis råd om observasjon og fotografering av solformørkelser.

∞

C-BLAD

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



From where comes this «hole»?

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

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

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

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

Selskapets sekretær:
Rådgiver Heidi Bruvoll
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 26, Fax.: 22 85 64 22
E-mail: heidi.bruvoll@fys.uio.no
Postgiro: 0802 5883889
Bankgiro: 5102.05.42806

Fra Fysikkens Verden

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

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

Redaksjonskomité:
Professor Noralv Bjørnå
Inst. for fysikk, Univ. Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.
Professor Egil Leer,
Inst. for teor. astrofysikk, Univ. Oslo.

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

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