Fra Fysikkens Verden

Nr. 2 – 1998
60. årgang

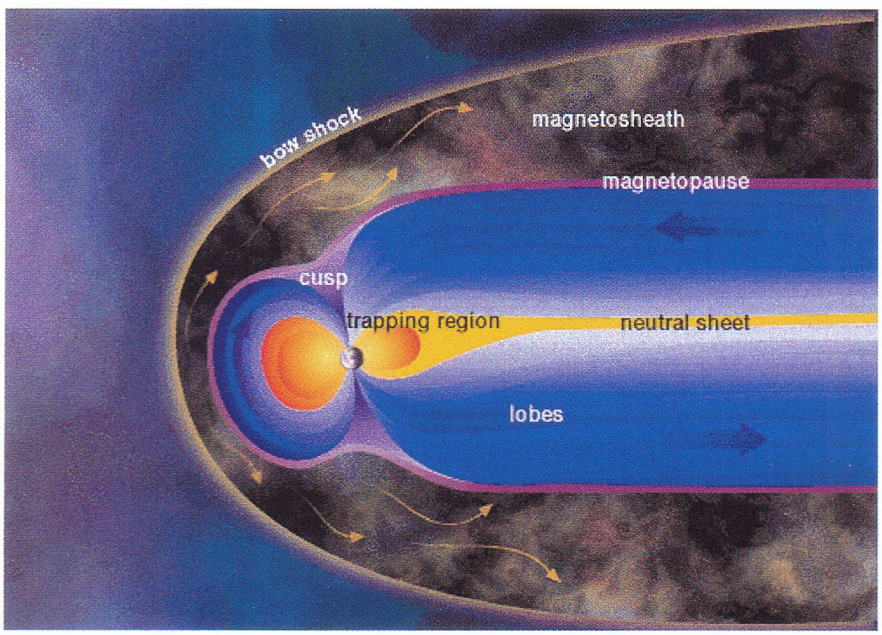
Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Hans Pécseli:
Romvær – av betydning? 39
Harald Møllendal:
Molekylene i verdensrommet 46
Eli Olaug Hole:
Strålingsdosimetri med ESR.....52
Fra Redaktørene.....38
FFV Gartulerer 38
Jannicke Hilland
Bokomtale.....58
Konferanse.....59
Kommentar til To kulturer 60
Truls Wyller
Nye Doktorer 61
Dr.scient. Tor Haugset
Trim i FFV.....61
Hva skjer.....62
Rondablikk-seminaret 1998
Seminar i petroleumsfysikk
Nytt fra NFS 63
Nye medlemmer



Snitt gjennom jordas magnetosfære
– solvinden fra venstre
(Se artikkel om romvær)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

For et par uker siden hadde Universitas, studentenes egen avis ved Universitetet i Oslo, et førstesideoppslag med fete typer viet Fysisk institutt: "*Kvinner diskrimineres*". Utgangspunktet var et intervju med to kvinnelige studenter, som bl.a. hadde overhørt noe som de oppfattet som kvinnediskriminerende kommentarer om en kvinnelig lærer. Dette inspirerte bladets lederskribent til å komme med en ganske utrolig – men sikkert politisk moteriktig – "konklusjonsorgie" om spesielt aldrende fysikeres fossile holdninger til kvinner.

Det hører med til historien at meldingen også gikk ut over riksdekkende radio. Som aldrende professorer ble vi derfor brutalt konfrontert med denne avsløringen da vi trette og slitne kom hjem til våre tredobbeltarbeidende, langtidsdiskriminerte ektefeller.

Nå viste det seg at den smule "ild" som var årsak til "røyken" lett kunne identifiseres; det er – beklageligvis – svært få kvinnelige ansatte ved instituttet. Disse reagerte imidlertid spontant, og avslørte vrøvlet i oppslaget. Vi skal derfor ikke dvele ved det poenget, men heller knytte noen tanker til det underliggende budskap som vi ser som langt alvorligere enn beskyldningene. I lederen blir kjønnsdiskriminering endog lansert som en viktig årsak til den manglende rekruttering til fysikk!

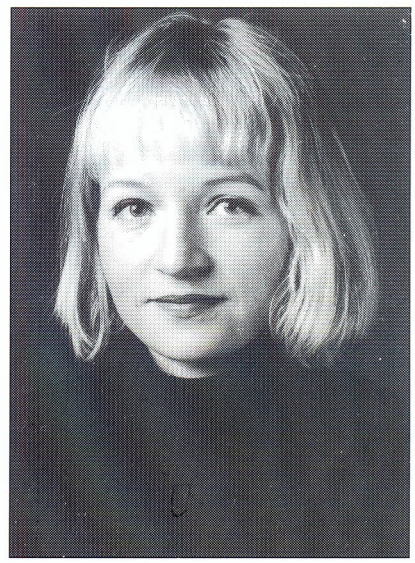
Det vi leser, såvel på som mellom linjene, er nemlig en nærmest fiendtlig holdning til realister generelt og fysikere spesielt. Denne, etter hvert velkjente negative holdning til faget, har langsomt, men sikkert, utviklet seg siden 60-årene. I dette tilfelle er holdningen kamuflert som en anklage om kjønnsdiskriminering, men kjært barn har som kjent mange navn.

Men altså – siden det heldigvis bare er "gamlingene" blant fysikerne som er håpløse, er det – uten at det sies direkte – antakelig håp for de yngre. Og det er jo bra, for selv om det er langt igjen, er det i dag en økt tilgang på dyktige kvinnelige fysikere. Hva vi skal gjøre med den dårlig kamuflerte aversjonen mot fysikk som fag, er imidlertid en utfordring som vi føler oss nokså hjelpeløse overfor. Men så er vi da heller ikke psykologer.

∞

FFV Gratulerer

Meltzerprisen til Jannicke Hilland



Dr.scient. Jannicke Hilland (30) har fått en av årets Meltzer-priser for yngre forskere, for utvikling av et instrument for måling av oljekvalitet. Prisen er på 100 000 kroner.

Jannicke Hilland ble utdannet sivilingeniør (B.Sc.) ved University of Manchester i 1991, og ble ansatt som forsker ved Chr. Michelsens Institutt i Bergen samme år. I 1994 ble hun opptatt som doktorstudent ved Fysisk institutt, UiB, og disputerte for dr.scient.-graden i november 1997. Nå er hun ansatt som programleder ved Christian Michelsen Research, Avdeling for industriell instrumentering.

Hilland har utviklet en metode til å forbedre overvåkingen av oljeproduksjon (se FFV 1/98, s. 28). Ved hjelp av mikrobølger fra et instrument festet på borerøret, og avansert statistisk analyse, kan en måle sammensetningen av olje, gass og vann som pumpes opp. Denne metoden kan også benyttes i separeringsprosessen. Målemetoden er patentert, og kan få stor betydning for oljeindustrien.

Utdelingen av priser fra L. Meltzers høyskolefond, som administreres av Universitetet i Bergen, fant sted ved den årlige Meltzer-middagen som i år ble holdt 9. mars. – *FFV gratulerer!*

∞

"Romvær" – av betydning i hverdagen?

Hans Pécseli *

Solen sender ut en stadig strøm av elektroner og ioner (et plasma) som kalles solvinden. Disse ladede partikler vekselvirker med Jordens magnetfelt. Selv om partikkeltettheten utenfor Jordens atmosfære er relativt liten, er det også her mulig å tale om vind, kraftige forstyrrelser og til og med storm. Disse forhold er typisk lokalisert til avstander av noen jordradier over jordoverflaten, og det hører til sjeldenhetene at de har en umiddelbar målbar konsekvens for forhold *på* Jorden. Det kunne derfor ventes at mulige skadevirkninger kunne ignoreres fordi de ikke var så hyppige. For et moderne industrialisert samfunn vil imidlertid selv sjelden forekommende uhell kunne få vidstrakte følger.

Kraftige forstyrrelser i Jordens nære verdensrom er relativt sjeldne. En konsekvensanalyse vil imidlertid vanligvis multiplisere sannsynligheten for uhellet med et måltall for dets konsekvenser, og dette produktet kan bli stort selv for sjeldne uhell. Spesielt uheldige værforhold i det ytre rom utgjør en risiko for forhold på Jorden som ikke kan ignoreres. For eksempel kan disse fenomener forårsake variasjoner i Jordens magnetfelt, som igjen kan indusere uønskede strømmer i elektriske høyspenningsnett med sammenbrudd i strømforsyningen som følge.[1]

Mange av de omtalte forstyrrelser er lokalisert til områder hvor de kan gi kraftige forstyrrelser på satellitter. Da moderne kommunikasjon og navigasjon i høy grad er avhengig av slike satellitter, kan det forventes at forhold i det nære verdensrom er av betydning også for vår hverdag. Korrekte værvarsler er i dag kritisk avhengig av meteorologiske satellitter, og disse opplysninger kan for visse yrker, fiskeri f.eks., være livsviktige.

Jordens magnetosfære

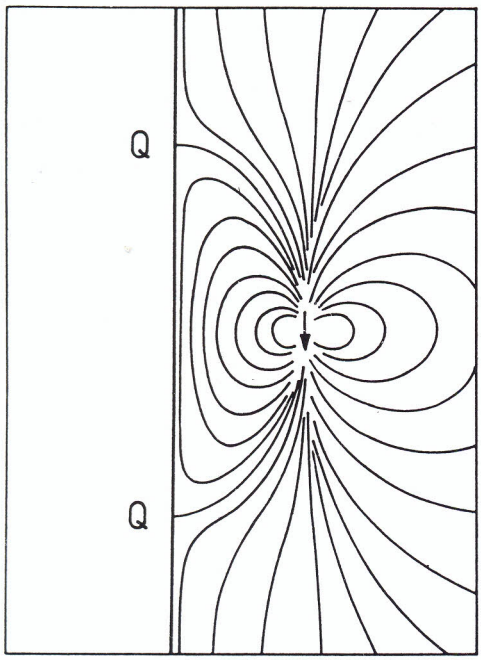
Det geomagnetiske felt kan i Jordens nærhet med ganske god nøyaktighet beskrives som et magnetisk dipolfelt. På større avstander, typisk 5–10 jordradier, modifiseres dette feltet på grunn av tilstedeværelsen av et plasma, den såkalte solvind.[2] Dette plasma kan betraktes som en gass bestående av frie elektroner og ioner som kontinuerlig fordamper fra soloverflaten. Solvinden drives bort fra Solen av gradienten i trykket, men holdes tilbake av Solens tyngdefelt. Da denne tyngdekraften avtar med kvadratet av avstanden fra Solens sentrum, kan det oppstå situasjoner der trykkreftene dominerer på store avstander. Plasmaet kan da oppnå en energi som overstiger innfangningsenergien i Solens tyngdefelt.

Selv om partikkeltettheten er liten, $n \approx 5 \cdot 10^6$ m^{-3} ved 1 AU ("astronomisk enhet", middelavstand fra Solens sentrum til Jorden, 1 AU $\approx 150 \cdot 10^6$ km), er ladningsbærerne fritt bevegelige. Solvindsplasmaet er derfor karakterisert ved høy elektrisk ledningsevne; i det relevante parameterområdet kan denne sammenlignes med ledningsevnen for rent kobber.

Solvindens påvirkning av Jordens magnetfelt kan illustreres ved det enkle eksemplet gitt i figur 1. Plasmaet representeres her ved et ideelt ledende medium hvor de induserte overflatestrømmene i platen gir opphav til en modifikasjon av det magnetiske feltet som vist. Jordens magnetfelt trykkes sammen og deformeres kraftig på den siden som vender mot lederen. Selv om figuren er sterkt idealisert, inneholder den de viktigste elementer av en mer detaljert beskrivelse. For å rettferdiggjøre dette synspunktet betraktes noen av modellens begrensninger: i) solvinden er en god, men *ikke ideell* leder, og ii) ettersom plasmaet er i gassfase, kan det ikke korrekt representeres av en fast vegg.

En endelig ledningsevne fører til at det magnetiske felt forplanter seg inn i lederen. Så lenge denne prosess er langsom, kan den beskrives som en enkel diffusjonsprosess hvor den lokale diffusjonshastighet er proporsjonal med resistiviteten $1/\sigma$ og den lokale gradient i magnetfeltet. Magnetfeltsdiffusjonen bringer til sist feltet tilbake til den opp-

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

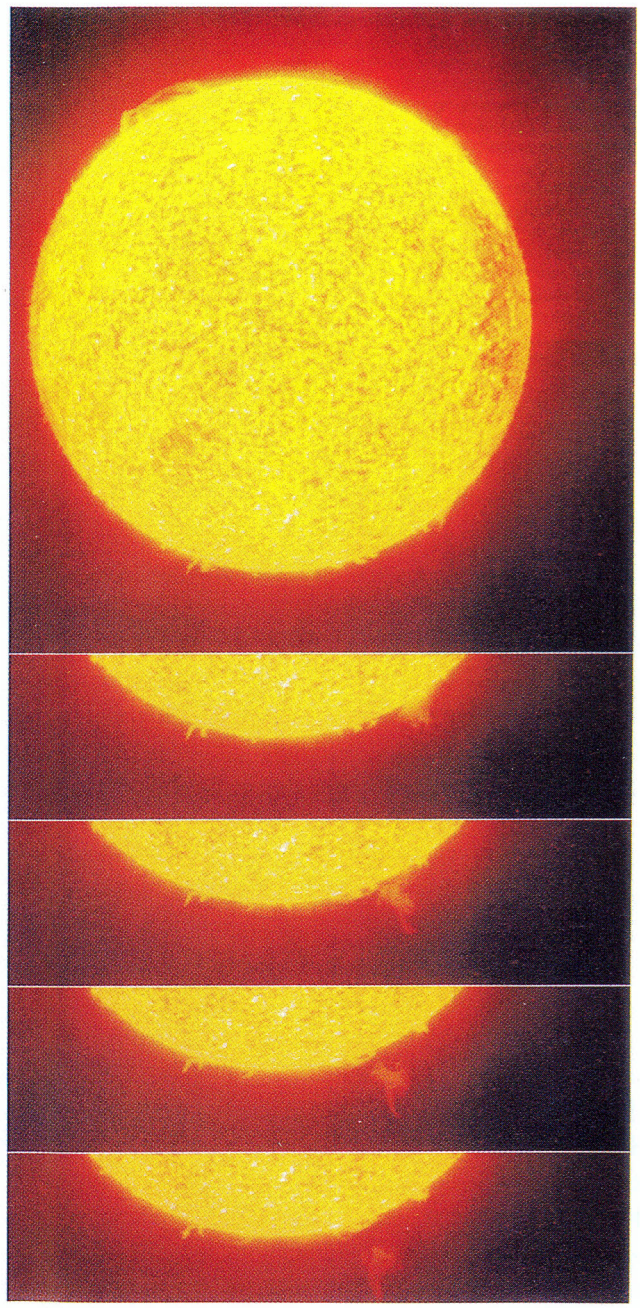


Figur 1. Et dipolfelt deformeres av en ideell leder som vist. Lederen antas å fylle halvrommet til venstre i figuren. Bemerk de to magnetiske nullpunkter på lederens overflate, merket Q, som omsluttes av overflatestrømmen. Gjennom disse to punkter er det en spesiell enkel forbindelse fra leder til dipol (dvs. i det foreliggende tilfellet fra solvinden til Jordens magnetosfære).

rinnelige dipolstruktur som om det slett ikke var noen leder til stede. Imidlertid motvirkes denne prosessen av strømningen i solvinden som hele tiden bringer nytt plasma forbi Jorden. I figur 1 svarer dette til en bevegelse av lederen med konstant hastighet parallelt med grenseflaten.

Når et medium strømmer gjennom et magnetfelt, induseres det elektriske felter med en intensitet proporsjonal med strømningshastigheten U. Disse elektriske feltene gir opphav til elektriske strømmer som igjen skaper et nytt magnetfelt. Avbildes det resulterende magnetiske vektorfelt, vil det se ut som om magnetfeltlinjene "trekkes med" av strømningen. Det resulterende felt kan dermed avvike markant fra den enkle dipolstruktur.

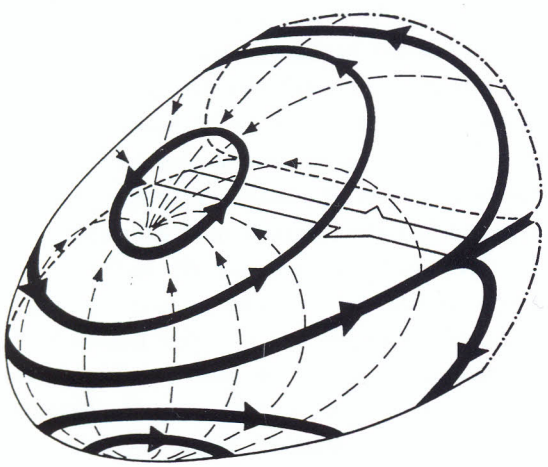
Den relative betydning av konveksjonshastighet og diffusjonshastighet på det magnetiske feltbilde måles ved det dimensjonsløse magnetiske Reynolds tall $R_m \equiv \mu_0 \sigma L U$, hvor σ er ledningsevnen, L er en karakteristisk lengdeskala, U en typisk hastighet, og μ_0 er permeabiliteten for vakuum. For store R_m er magnetfeltsdiffusjonens betydning forsvinnende, mens på den andre siden er konveksjonen uten betydning for små R_m. Som et regneeksempel, relevant for magnetosfæreforhold, kan vi betrakte $L \approx 10^3$ m, $U \approx 10^5$ m/s, og $\sigma \approx 10^6$ S/m, hvilket



Figur 3. Observasjon av "coronal mass ejection" (CME) fra Solen observert via satellitt. CME observeres lettest når det skjer på solranden, som her i nederste høyre del. En karakteristisk lengdeskala for den observerte CME er $30 \cdot 10^3$ km $\approx 5\ R_E$. Tidsintervallet mellom bildene er omtrent 20 min. Forekomsten av CME, og solaktiviteten generelt, har en 11-årig periode, den såkalte solsyklus. Denne kan også observeres i solflekkaktiviteten. Ved maksimum i Solens syklus kan det oppstå forstyrrelser av varierende intensitet nesten hver dag (men ikke nødvendigvis alle dager) i en måned, mens det ved solminimum stadig er usedvanlig, hvis en hel måned forløper uten forstyrrelser.[4]

gir $R_m \approx 10^8 \gg 1$. For dette tilfellet kan vi altså forvente kraftige avvikelser fra det enkle dipolfelt.

Som konklusjon kan vi si at selv for et materiale med endelig ledningsevne, vil figur 1 forbli kvalitativt korrekt, forutsatt at strømningshastigheten for mediet er stor. Resultatet blir i det aktuelle eksempel et grenselag med sterkt inhomogent magnetfelt som skiller solvinden og Jordens ionosfære. Grenselaget har form av en stående sjokkfront. Denne virker som en beskyttende kappe og skjermer mot bombardementet av hurtige solpartikler som ved spesielt kraftig solaktivitet oppnår relativistiske energier. Sjokkfronten selv har ikke form som den plane vegg skissert i figur 1. Ettersom solvindsplasmaet er i gassfase, vil grenselaget folde seg rundt om Jordens magnetfelt på samme måte som en ledende væske flyter rundt en sterk magnet nedsenket i væsken. En realistisk fremstilling av Jordens magnetosfære er forsøkt på forsiden, og strømsystemene ved magnetopausen er vist skjematisk på figur 2. Det kan sees hvordan Jordens magnetfelt danner en kavitet i solvinden. Kaviteten er likevel ikke et rent vakuum; deler av Jordens nærområder inneholder et ionosfærisk plasma.



Figur 2. Skjematisk illustrasjon av strømsystemene ved Jordens magnetopause. Flatestrømmen varierer kontinuerlig over flaten. For enkelhetsskyld er bare enkelte strømbaner vist. Magnetfeltlinjer er indikert ved stiplet strek. Den nøytrale flatestrøm er vist i hvidt på tvers av magnetosfæren bak Jorden. Solen er til venstre.

Solvinden gjennomtrenges av et svakt magnetfelt med opprinnelse i Solen. Dette feltet har en intensitet på ca. 5 nT i en avstand på 1 AU fra Solen. Dette magnetfeltet kan gjennom magnetopausen koples til Jordens magnetfelt ved at magnetfeltlinjer skaper direkte forbindelse fra solvinden og inn i jordmagnetosfæren. De topologiske forhold omkring denne koplingen er imidlertid sterkt variable. Jordens magnetfelt har en fast polaritet, mens Solens kan skifte retning innen bestemte sektorer hvis utstrekning blant annet avhenger av solaktiviteten. Koblingen mellem de to magnetfeltsystemer er spesielt kraftig når den lokale polaritet for Solens magnetfelt er motsatt Jordens.

Forholdene i Jordens ionosfære

Den nøytrale komponent av Jordens atmosfære avtar med høyden over jordoverflaten. De øverste lagene av atmosfæren ioniseres av ultraviolet stråling fra Solen samtidig med at det meste av denne strålingen absorberes. Denne ioniserte gassen, et plasma, utgjør Jordens ionosfære. Ionosfærens tetthet avtar hurtig med høyden på grunn av den avtagende nøytraltetthet som bevirker at det blir få partikler å ionisere i store høyder. På den andre side avtar plasmatettheten kraftig for høyder under ca. 90 km, da det meste av den ultraviolette stråling er absorbert over dette området.

Satellittmålinger har vist at det for høyder over 1400 km ved ekvator, finnes en øket konsentrasjon av energirike partikler, de såkalte strålingsbelter. En viktig kilde til partikler i strålingsbeltene er nøytroner. Disse beveger seg upåvirket av magnetfeltet inntil de tilfeldig disintegrerer til elektron–proton par som deretter er innfanget av Jordens magnetfelt. Ved disintegrasjonen frigjøres en energi på ca. 780 keV. De fleste av disse nøytronene er sekundærpartikler produsert av den kosmiske strålings vekselvirkning med Jordens atmosfære.[2]

Elektronene og protonene spiraliserer omkring magnetfeltlinjene og kan oppfattes som små ringstrømmer, eller magnetiske dipoler. Disse påvirkes av en kraft proporsjonal med gradienten av det lokale magnetfelt, med retning mot den svake feltstyrke. Da magnetfeltet er sterkest ved Jordens poler, se f.eks. figur 2, vil de fleste partikler bli reflektert her og være innfanget mellem Jordens to magnetpoler, i prinsippet vilkårlig lenge. Man taler om innfangning mellem to "magnetiske speil". En global forstyrrelse av det magnetiske feltet vil imidlertid medføre en tilsvarende forstyrrelse av partikkelfordelingen i strålingsbeltene, hvorved en del av de ladede partikler kan unnslippe de magnetiske speilfeltene. Jordens strålingsbelter består av energirike partikler, men tettheten er relativt lav, omkring 10^6 m^{-3}. (Til sammenligning kan nevnes

at den nøytrale lufttetthet ved Jordens overflate er $\sim 10^{25}$ m^{-3}).

Partikkeltettheten i Jordens magnetosfære er således sterkt varierende både i tid og rom. Det kan imidlertid sies generelt at tilstedeværelsen av frie ladningsbærere tillater lokale strømsystemer i tillegg til de strømmer som flyter i grenselaget mellem solvinden og magnetosfæren. Disse strømsystemene bidrar også til endringer av det globale magnetfeltsbilde. Dette kan bli så kraftig deformert at det får form av en langstrakt hale ("magnetotail"), i stedet for et nær dipolfelt, se figur 2.

Forstyrrelser i magnetosfæren

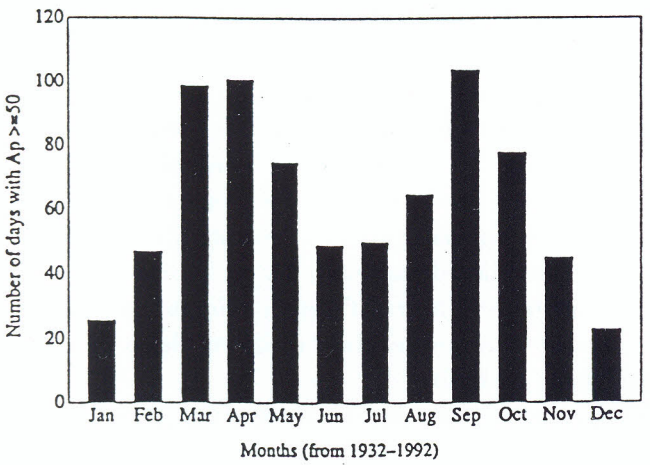
Jordens magnetfelt er overlagret en fluktuerende komponent selv under normale forhold. For eksempel gir friksjonen mellom den strømmende solvind og det stasjonære plasma innfanget i Jordens magnetfelt, ofte opphav til ustabile forhold (Kelvin–Helmholtz ustabilitet). Dette kan føre til generasjon av lavfrekvente fluktuasjoner og målbare magnetiske forstyrrelser på Jorden. Magnetiske pulsasjoner, mikropulsasjoner, kan være regelmessige eller uregelmessige. Hver type kan opptre med perioder fra < 1 til 10^3 sekunder. Disse magnetfeltsfluktuasjoner kan oppfattes som magneto–hydrodynamiske bølger (ofte kalt Alfvénbølger), som forplanter seg i Jordens magnetosfære. Spesielt kan det oppstå stående bølger mellem Jordens magnetiske poler.

De før nevnte forstyrrelser er observerbare, men de gir ikke opphav til spesielt dramatiske hendelser. Den stående magnetosfæriske sjokkfront omkring Jordens solside kan imidlertid settes i kraftig bevegelse av "kast" i solvinden. Disse kan skyldes en økning av enten hastighet eller plasmatetthet i korte perioder, svarende til at den ledende vegg i figur 1 presses kraftigere mot dipolen. Slike hendelser forekommer ofte, især i perioder med høy solaktivitet.[3] Man skjelner mellem flere forskjellige hendelser; f.eks. "solar flares", "coronal holes" og "coronal mass ejection (CME)". I figur 3 vises en observasjon av CME. Den samlede frigjorte energi i forbindelse med "solar flares" og CME kan være svært varierende. Normalt ligger de aktuelle energier i området 10^{22}–10^{25} J, altoverveiende i form av kinetisk energi. Til sammenligning er Norges energiforbruk 10^{15}–10^{16} J/døgn.

CME vil ofte gi opphav til en sjokkfront i solvinden. Hvis en slik front rammer jordmagnetosfæren, kan det oppstå magnetiske stormer. Disse manifesterer seg ved kraftige globale magnetiske forstyrrelser med opp til et døgns varighet. Det kraftig varierende magnetfelt (hvor det ofte er snakk om flere prosent relativ variasjon) kan ved jordoverflaten indusere elektriske felter, som kan forårsake alvorlige uhell.[4,5] Selv om Jordens magnetfelt er svakt, ca. 50 μT ved polene, og fluktuasjonene langsomme, kan det likevel induseres uakseptabelt store strømmer i høyspenningsnett med stor utstrekning. Den induserte strøm i en lukket ledningskrets er lik den tidsderiverte av det innesluttede magnetfelts flux dividert med kretsens samlede motstand. Motstanden økes proporsjonalt med ledningens lengde, mens den innesluttede flux økes med kvadratet av lengden. Et nett med en stor utstrekning kan få indusert store strømmer; over 100 A er målt. Virkningene kan i disse ekstreme tilfeller være alvorlige. For eksempel falt hele ledningsnettet for Hydro Quebec i Kanada ut i 9 timer i forbindelse med en usedvanlig kraftig geomagnetisk storm 13. mars 1989. Uhellet berørte 6 millioner forbrukere.

Også andre former for forstyrrelser er kjent. De induserte strømmer kan gi opphav til øket korrosjon i lange rørledninger. Strømmene er lavfrekvente, i det minste i sammenligning med vekselspenningsfrekvenser på 50 eller 60 Hz, og det er ved flere anledninger observert en strøm-bias i elektriske krafttransformatorer som medfører uønsket oppvarming av transformatorkjernen og en ofte uakseptabel harmonisk generering på grunn av metningsfenomener i jernkjernen. Disse og andre ledsagende fenomener ved magnetosfæriske stormer medfører store tap og utgifter selv om størrelsen av de aktuelle tap er vanskelig å spesifisere. Forholdene, som er beskrevet her, er aktuelle især for den nordlige halvkule, f.eks. Nord-Amerika, Kanada og det nordlige Skandinavia. På den sydlige halvkule er de tilsvarende områder stort sett dekket av vann.

Man har indført et såkalt *Ap*-indeks som uttrykk for geomagnetisk aktivitet. (*A* indikerer at det er snakk om dagsmiddel, *p* at det er snakk om en global middelverdi, "planet–wide average".) Det kan anføres at $Ap \geq 50$ er uttrykk for en kraftig geomagnetisk storm. For å illustrere problemets omfang vises i figur 4 en opptelling av det samlede antall stormdager fordelt på årets måneder i perioden januar 1932 til desember 1992. Det fremgår at man i denne 60-årige periode kunne forvente mer enn én alvorlig magnetisk storm i hver av bortimot halvdelen av årets måneder.



Figur 4. Den såkalte Ap-indeksen er et mål for den globale geomagnetiske aktivitet. I figuren vises en oversikt over tilfeller med $Ap \geq 50$ for årene 1932 til 1992 fordelt på måneder.[4] Figuren viser en iøynefallende årstidsvariasjon forbundet med den varierende vinkel mellom Jordens og Solens magnetfelt.

Forstyrrelser av satellitter

De kraftigste magnetosfæriske og ionosfæriske forstyrrelser er lokaliserte til områder hvor det befinner seg mange kommersielle satellitter. Geostasjonære satellitter med omløpstid på ett døgn befinner seg f.eks. over ekvator i en avstand av 6,6 R_E fra Jordens sentrum, hvor $R_E \approx 6,38 \cdot 10^3$ km er jordradien. Avstanden fra Jordens sentrum til magnetopausen i retning mot Solen, er under normale forhold $\sim 10\, R_E$. Satellitter konstruert for normale forhold i denne avstand kan imidlertid bli utsatt for varig skade hvis magnetosfæren trykkes kraftig sammen i forbindelse med voldsom solaktivitet. Under slike forhold kan satellitten plutselig befinne seg i solvinden med plasmatetthet merkbart større enn i strålingsbeltene. I dette området kan instrumenter og solpaneler utsettes for direkte bestråling av energirike partikler (ofte med relativistiske hastigheter) som ledsager en voldsom solaktivitet. Det er mulig at det er elektrostatiske oppladning av deler av satellitten som er årsak til de problemer som kan oppstå. I begynnelsen av 1997 opphørte f.eks. en kommunikasjonssatellitt med å fungere i forbindelse med et slikt solutbrudd, og den kunne ikke senere gjenaktiveres. Prisen på en slik satellitt er omtrent 400 mill. $.

Satellitters orientering

En rutinemessig justering av satellitters retning består i å tilpasse en strøm gjennem en strømkrets ombord. Satellitten får da et dreiningsmoment gjennom vekselvirkningen mellem Jordens magnetfelt og den magnetiske dipol ekvivalent med strømsløyfen. Under intense geomagnetiske forstyrrelser kan magnetopausen imidlertid, som nevnt før, krysse satellittens bane slik at denne plutselig befinner seg i et magnetfelt av annen styrke og annen retning enn det som ble antatt ved planlegningen av korreksjonen. I verste fall kan magnetfeltets retning være det motsatte av det som ble antatt. Som konsekvens kan satellitten få en annen orientering enn den tilsiktede; solpanelenes belysning kan derved bli uhensiktsmessig og satellittens antenner rettet feil. Dette spesielle eksemplet fremhever igjen betydningen av pålitelige og forudsigbare magnetfeltsmodeller.

Satellitters posisjon

Forstyrrelser nærmere Jorden har en noe annen karakter enn i den ytre magnetosfære. I avstander av 600–800 km over Jorden, hvor de fleste jordobservasjonssatellitter befinner seg, er det friksjonen med den tynne restatmosfære som er avgjørende for satellittens levetid.[3,6] Det er her meget sjelden snakk om dramatiske påvirkninger. Konsekvensen av luftmotstanden er imidlertid ytterst reell. Romteleskopet HUBBLE, som ideelt skal befinne seg i en avstand av $\sim$ 600 km over Jorden, daler for eksempel ca. 10 km/år på grunn av denne friksjon. Det har allerede én gang vært nødvendig å akselerere teleskopet opp til en høyere bane. Dette skjedde i forbindelse med den meget omtalte reparasjon av det optiske system. Tilsvarende forhold gjør seg gjeldende for meteorologiske satellitter, som f.eks. måler bølgehøyder på havene ved mikrobølgerefleksjon. For bølgehøyder opp til 25 m er målenøyaktigheten omlag 10 %. Dette oppnås ved en analyse av det samlede refleksjonsmønster, hvorav hele bølgeformen avleses. For disse målinger er et kjennskap til satellittens absolutte posisjon med noen meters nøyagtighet tilstrekkelig. Imidlertid er en *absolutt* bestemmelse av havnivået av stor betydning for klimatiske modeller, f.eks. for ismeltingen ved polene. I denne forbindelse er en nøyagtighet på ± 10 cm (sic!) i baneberegningen ønskelig. Lignende overveielser gjør seg gjeldende for bestemmelsen av kontinentaldriften ved hjelp av satellittmålinger. En slik presisjon krever ekstremt gode banemodeller, og dermed tilsvarende gode atmosfæremodeller, og oppnås ved å interpolere mellom satellittposisjoner (f.eks. for ESAs ERS-satellitter) målt med opp til en ukes mellomrom. En egentlig forutsigelse av en senere posisjon ut fra

én måling er noe mere usikker. Unøyaktigheten kan her lett bli omkring 1 m på en ukes tid, men selv dette setter ekstreme krav til atmosfæremodellenes nøyagtighet. Magnetosfæriske stormer representerer et usikkerhetsmoment for disse modeller, idet de endrer den øvre ionosfæres tetthet og sammensetning på en ikke forutsigbar måte. I mange numeriske modeller har man innført fenomenologiske korreksjonsfaktorer for disse endringer, Der dette ikke er tilstrekkelig, må de nye satellittposisjonene måles eller bestemmes på annen måte. Disse problemer er av betydning især for satellitter i polare baner hvor forstyrrelser er hyppigst. Disse satellittbaner er nettopp nå blitt spesielt viktige i forbindelse med oljeleting i arktiske områder.

Posisjonsbestemmelse av objekter i kretsløp omkring Jorden er også viktig i forbindelse med den katalog på over 20 000 satellittfragmenter og andre fremmedlegemer som hittil er registrert i baner omkring Jorden. Alene deres store antall utgjør en belastning på regnekapasiteten ved baneberegningene. Posisjons- og avstandsbedømmelse med den ønskede nøyaktighet ved laser- og mikrobølgemetoder er ikke i seg selv noe problem. Slike korreksjoner er uungåelig og blir et problem hvis de nødvendige målinger må foretas ofte. Jo bedre atmosfæremodeller man råder over, dess færre slike målinger er nødvendig.

Den øvre ionosfæres sammensetning og tetthet, og den derav følgende friksjon som satellitter utsettes for, er varierende på flere forskjellige tidsskalaer. En viktig variasjonsperiode er Solens 11-årige syklus, tidsintervallet mellem to maksima av solmagnetfeltets intensitet (med endret polaritet). En viktig koplingsmekanisme fra Solen til atmosfærens sammensetning[6] er variasjonen i den ekstreme ultraviolette stråling (EUV). Denne gir variasjoner i energiavsetningen i Jordens termosfære i høydeområdet omkring 150 km. Endringer i termosfæren medfører i sin tur variasjoner i atmosfæreparametrene i andre høydeområder. Kjennskap til atmosfærens tetthet og sammensetning er meget viktig for baneberegninger, kanskje like viktig som kjennskap til variasjonene i det lokale tyngdefeltet når satellittene beveger seg over varierende terreng, bergkjeder og havområder.

Den regelmessige variasjon av atmosfæreparametrene er kjent og kan i prinsippet innebygges i modeller, i det minste med en akseptabel nøyaktighet. Imidlertid gir magnetiske stormer, som nevnt, opphav til bare vanskelig forutsigbare endringer i ionosfæretettheten. Dette forårsakes antagelig av kraftig lokal oppvarming av polarområdenes ionosfære, dels gjennom presipitasjon (nedbør) av energirike partikler (overveiende elektroner) fra magnetosfæren, og dels gjennom Joulesk oppvarming ved dissipasjon (spredning) av elektriske felter med opprinnelse i magnetosfæren.[6] Like viktig for påvirkningen av satellitter er det antagelig at tilstedeværelsen av et større antall frie ladningsbærere bidrar til en endring av ionosfærens kjemiske sammensetning med en derav følgende endring i viskositeten.

Korrekte forutsigelser av kraftige magnetosfæriske og atmosfæriske forstyrrelser er ikke i seg selv tilstrekkelig til at uheldige virkninger kan unngås. Forut ligger et stort utviklingsarbeid av f.eks. sikkerhetsutstyr for satellitter som kan aktiveres fra Jorden for å begrense eller helt unngå skader.

Konklusjon

De store økonomiske utgifter og andre omkostninger, som kan være konsekvensen av kraftige forstyrrelser av Jordens magnetsystem har medført en øket oppmerksomhet omkring overvåkning av solaktiviteten og forsøk på varsling av magnetiske forstyrrelser. Erfaringsmessig viser det seg, at det ikke er tvingende nødvendig å forstå et fenomen for å kunne forutsi det. En vigtig aktivitet består i å opptille fenomenologiske modeller basert på et omfattende observasjonmateriale, hvorfra man kan forutsi magnetosfæriske forstyrrelser. Modellenes begynnelsesbetingelser tas fra observasjoner av solaktivitet, modelligningene løses numerisk, og løsningene oppdateres og kalibreres løpende ved observasjoner. Selv om mange av disse modeller er helt eller delvis empiriske, har de vist seg effektive for varsling av magnetisk aktivitet på Jorden på kort sikt. Modellene inneholder ofte i tillegg en forutsigelse av sjokkfrontenes forløp, variasjonene i solvindsparametre m.v., for store områder i vårt nære verdensrom. Det er imidlertid ikke alltid umiddelbart innlysende hva man helt spesifikt ønsker å forutsi. Et ideelt mål kunne være en varsling av geomagnetiske indekser som *Ap*, nevnt før. Det er gjort noen fremskritt i så henseende.[4] Observasjoner i solvinden gjør det i dag mulig å komme med nøyagtige varsler om øket geomagnetisk aktivitet noen timer, kanskje en dag, i forveien. For flere dags varsler øker feilraten.

En lang rekke instrumenterte satellitter har bidratt til den økende forståelse av det kompliserte

dynamiske system bestående av Jordens ionosfære og magnetosfære. SOHO-satellitten, oppsendt sist i 1995, har vist seg å være et særdeles verdifullt verktøy ved innsamlingen av data for solaktiviteten. Det er nylig (medio 1997) besluttet å forlenge prosjektet med ytterligere 5 år. Det er imidlertid klart at værvarsling i Jordens nære verdensrom på lang sikt ikke kan baseres på forskningssatellitter som SOHO. Disse har alle en begrenset levetid og representerer i seg selv betydelige investeringer. Målet med arbeidet er å oppnå en så grundig forståelse av koplingen mellom solvinden og jordmagnetosfæren at forutsigelser og analyser kan baseres på observasjoner fra Jorden.

Ut over varsling av mulige forstyrrelser, gir overvåkningen av solvinden og Jordens magnetosfære også verdifulle opplysninger om ionosfærer og magnetosfærer ved magnetiserte planeter i mer generell forstand. Solen og planetene i vårt solsystem utmerker seg ikke i noen nevneverdig grad i astronomisk og astrofysisk sammenheng utover det å være tilgjengelige for målinger og i visse sammenhenger endog for aktive eksperimenter. Den oppnådde informasjon om vårt eget solsystem kan anvendes også på magnetosfæreforhold i andre og mer generelle sammenhenger. De kan bidra til en dypere forståelse av andre sol- og planetsystemer hvorfra detaljerte data ikke umiddelbart er tilgjengelige.

Forfatteren takker Kåre Aksnes og Marit Øieroset for verdifulle kommentarer. En særlig takk også til Jan Trulsen, Inst. for teoretisk astrofysikk, UiO, og til Vagn O. Jensen, Forskningscenter Risø, for kommentarer til en tidligere versjon av manuskriptet. Liv Larsen, Universitetet i Tromsø, har hjulpet til med tegning av figurer.

Referanser

1. M. Øieroset: *Værvarsling for det nære verdensrom.* Naturen **121**, 283–287 (1997)

2. G. K. Parks: *Physics of Space Plasmas.* Addison–Wesley (1991)

   Ofte anvendt lærebok, som bl.a. inneholder diskusjon av grunnleggende forhold omkring solvinden og dens vekselvirkning med Jordens magnetosfære.

3. R. Esser: *Solaktivitet og dens virkning på jordas omgivelser.* Fra Fysikkens Verden **53**, 5–10 (1991)

4. J. A. Joselyn: *Geomagnetic activity forecasting: the state of the art.* Rev. Geophys. **33**, 383–401 (1995)

   Oversiktsartikkel rettet især mot forståelse av geomagnetiske indekser som *Ap*, nevnt i teksten. Noen forkunnskaper om solfysikk er en fordel, men ikke absolutt nødvendig. Artikkelen inneholder et stort referansemateriale.

5. N. C. Maynard: *Space weather prediction.* Rev. Geophys. Suppl. 547–557 (1995)

   En noe komprimert oversiktsartikkel.

6. R. L. Walterscheid: *Solar cycle effects on the upper athmosphere: implications for satellite drag.* J. Spacecraft **26**, 439–444 (1989)

   Teknisk preget oversiktsartikkel rettet spesielt mot satellittforhold.

∞

GOD SOMMER!

Molekylene i verdensrommet

Harald Møllendal *

I år er det 30 år siden det første fleratomære molekyl, nemlig ammoniakk, NH_3, ble påvist i Skyttentåken i sentrum av Melkeveien 30 000 lysår fra Jorden. Dette funnet utløste århundrets jakt på fleratomære molekyler i verdensrommet. Til nå er omtrent 120 forskjellige molekyler med opp til 13 atomer påvist. Universet har en rik og eksotisk kjemi.

Forspillet

I 1859 introduserte Bunsen og Kirchhoff den spektroskopiske analysemetoden. Denne metoden går ut på å sammenligne spektret av et kjent stoff med spektret fra en ukjent prøve. At dette skulle bli en av de viktigste metodene i utforskningen av verdensrommet hadde de to tyske forskerne neppe tenkt seg.

Det gikk ikke lenge før metoden feiret sine første triumfer i romforskningen. Ved å studere solspektret kunne en fastslå at Solen er bygget opp av de samme grunnstoffene som Jorden. Den eldgamle gåten om hva Solen egentlig består av, var for alltid løst. Kort tid etterpå viste spektroskopikerne at også fiksstjernene inneholder de samme grunnstoffene. Stjernene kunne ikke være annet enn soler som er "uendelig" langt borte.

Under studiet av solspektret fant vitenskapsmennene et spektrum som måtte stamme fra et grunnstoff som til da var ukjent på Jorden. Dette grunnstoffet ble kalt helium etter det greske ordet for sol. Påvisningen av helium på Jorden var en kjempetriumf. For første gang var et grunnstoff funnet på et annet himmellegeme før det ble gjenfunnet på Jorden.

Er alt stoff samlet i himmellegemene, eller finnes det også stoff mellom stjernene (interstellart), om enn i ørsmå konsentrasjoner? Det var det neste store spørsmål. I begynnelsen av vårt århundre ble atomer, som svever fritt omkring i verdensrommet påvist ved hjelp av denne elegante metoden. Den gamle antagelsen at det interstellare rommet er fullstendig tomt, var altså feil.

Omtrent samtidig gjorde man en ny, viktig oppdagelse. Astronomer la merke til at lys fra stjernene blir spredt. Lysspredningen måtte være forårsaket av små partikler, som ble kalt interstellart "støv". Dette støvet har vist seg å spille en stor rolle for kjemien i universet.

Påvisning av interstellare molekyler lot vente på seg, men på slutten av 30-tallet ble de første molekylene (ioner og radikaler er her for korthets skyld kalt "molekyler", eventuelt "forbindelser", når det passer slik), radikalene CH og CN samt kationet CH^+, ble påvist interstellart via deres UV-spektre. Dermed var det klart at verdensrommet inneholdt i hvert fall noen små molekyler. Men var der flere, og inneholdt noen av dem flere enn to atomer? Vi måtte vente i 40 år til før dette spørsmålet kunne besvares med et i og for seg uventet – ja.

Gjennombruddet

I 1968 påviste mikrobølgespektroskopikeren og nobelprisvinneren C. H. Townes og hans medarbeidere, det første fleratomære molekyl, NH_3, i verdensrommet via dets mikrobølge-emisjonsspektrum som ble oppfanget av radioteleskopet i Hat Creek Station i California. Litt av et sammentreff, for øvrig – ammoniakk var det første molekyl som den samme Townes noen år tidligere hadde benyttet som medium i den aller første laseren (maseren). I 1964 innbrakte det ham nobelprisen i fysikk.

Med dette var århundrets molekyljakt i universet i gang, og fort gikk det. I løpet av 2–3 år ble et 30-talls fleratomære molekyler med opp til 8–10 atomer påvist i en lang rekke såkalte "tåker" både i vår egen galakse, Melkeveien, samt i andre galakser som f.eks. Andromeda. Selv de største optimister var overveldet. Verdensrommet hadde mot alle odds åpenbart en rik kjemi. En ny gren av kjemien, astrokjemien, hadde med dette sett dagens lys.

*Kjemisk institutt, Universitetet i Oslo.

Det uvanlige "reaksjonskaret"

Miljøet der de interstellare molekylene dannes, er helt spesielt. Materien i verdensrommet er stort sett konsentrert i interstellare tåker samt i stjerner. Tåkene deles ofte inn i såkalte "diffuse", "mørke tåker" eller "circumstellare" tåker. Sistnevnte type tåke omgir "kalde, døende, røde" gigantstjerner. Tåkene er store materiestrukturer med diametre på 1–400 lysår. Mest kjent er kanskje Oriontåken. Navnet Oriontåken har den fått fordi den kan observeres, faktisk med det blotte øye, i samme retning som stjernebildet Orion (se figur 1).

Figur 1. Oriontåken (OMC-1) der flere ti-talls interstellare molekyler er blitt påvist. Bildet er tatt fra ref. 5.

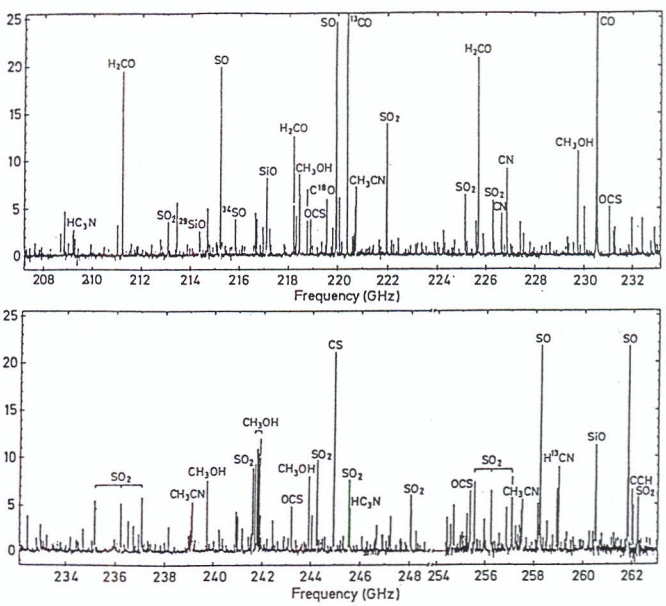
Den astronomiske betegnelsen er OMC-1, (Orion Molecular Cloud-1). Her er en mengde forskjellige molekyler påvist. Et mikrobølgespektrum med molekyltilordninger fra OMC-1 er vist i figur 2.

Oriontåkens masse er faktisk 100 000 ganger vår sols masse. I slike tåker "fødes" stjerner ved at gass, støv o.a. kondenseres. Når trykket blir høyt nok, tar kjernereaksjonene til. Når stjernene har levd noen milliarder år, eksploderer de og blir igjen til gass og støv. Materien sirkulerer således mellom stellare og interstellare perioder.

I verdensrommet utgjør hydrogenatomene gjennomsnittlig omlag 90 % av alle atomer og heliumatomene 9 %, mens alle andre grunnstoffer til sammen står for noe under 1 %. Karbon, oksygen og nitrogen følger etter helium i hyppighet som er h.h.v. $2,3 \cdot 10^{-4}$, $6,0 \cdot 10^{-4}$ og $1,3 \cdot 10^{-4}$ relativt til hydrogen. Så følger magnesium ($4,4 \cdot 10^{-5}$), silisium ($4,8 \cdot 10^{-5}$), jern ($3,2 \cdot 10^{-5}$) og svovel ($2,1 \cdot 10^{-5}$). Forekomsten av alle andre grunnstoffer utgjør betydelig mindre enn 10^{-5}. Det aller meste av den interstellare materien er atomer, altså C, N og O, og ikke molekyler som C_n, N_2 og O_2. Det finnes ett unntak, hydrogen, som stort sett er molekylært (H_2) i de mørke tåkene, ellers er det for det meste atomært (H).

Trykket er så lavt at det må betegnes som høyvakuum. I de diffuse tåkene er konsentrasjonen av atomer og molekyler ~10–1000 cm^{-3}, tilsvarende et trykk på grovt regnet 10^{-18} atm, mens konsentrasjonen typisk er ~ 10^3–10^6 cm^{-3} i de mørke tåkene (ca. 10^{-15} atm). Rommet er altså det vi på godt norsk ville kalle "tomt". Var det egentlig så rart at de fleste ikke hadde noen som helst tro på at det kunne eksistere interessant kjemi ved så forsvinnende små konsentrasjoner som det her er tale om?

Støvet i en tåke utgjør ca. 1 % av dens masse. Gjennomsnittlig er diameteren av disse partiklene



Figur 2. Mikrobølge-emisjonsspektrum fra Oriontåken. De fleste av emisjonslinjene i dette spektret er tilordnet. På de sterkeste linjene er molekyltilordninger gitt. Spektret er tatt fra ref. 4.

ca. 10^{-6} meter. Det er usikkert hva støvet egentlig består av, men antagelig er mye av det grafitt – rett og slett sot av det slaget du finner i en hvilken som helst skorstenspipe. Muligens er det et silikatmateriale, finkornet sand m.a.o. Støvet er dekket av "is" i de tåkene der temperaturen er lav.

Denne isen er en herlig blanding av en lang rekke molekyler, radikaler og ioner som f.eks. atomært og molekylært hydrogen, vann, ammoniakk, hydrogensulfid, acetylen, H_3^+, CH_3^+, OH, C_3H etc. Det antas at støvet med isen spiller en stor rolle for kjemiske prosesser. Blant annet blir den uventet store konsentrasjonen av molekylært hydrogen (H_2) i de mørke tåkene i forhold til atomært hydrogen (H) ofte forklart med overflatereaksjoner mellom (to) hydrogenatomer på støvet.

De fleratomære molekylene fins bare i sporkonsentrasjoner, 10^{-8} til 10^{-10} av konsentrasjonen til hydrogen, hvilket vil si at en typisk konentrasjon ville være noe sånt som ett molekyl pr. kubikkmeter! Selv om dette er nærmest ufattelig lite, så vil det *totalt* sett kunne være enorme mengder i en tåke p.g.a. dens store dimensjoner. Tåkenes diametre er gjennomsnittlig 50 lysår.

Både synlig lys og UV-stråling fra stjernene går gjennom de diffuse tåkene uten å bli fullstendig absorbert. Tåkene blir varmet opp av denne strålingen, og temperaturen i dem er forholdsvis høy (~100–200 K). Større molekyler tåler ikke den intense UV-strålingen. De dekomponerer. De diffuse tåkene består derfor stort sett av atomer og kationer samt noen få to-atomære forbindelser. Bare de tidligere nevnte CH, CH^+ og CN, samt nyoppdagelser som H_2, CO, C_2, OH og NH, klarer å overleve i dette røffe miljøet. Særlig interessant er derfor ikke kjemien i de diffuse tåkene.

Mørke og cirkumstellare tåker

Merkelig nok er det mye mer "livlig" i de mørke tåkene. Innholdet av støv er mye høyere her enn i de diffuse, og dette er "redningen." Støvet absorberer nemlig mye av den destruktive UV-strålingen, slik at det indre av tåkene blir skjermet. Samtidig synker temperaturen ned til bare noen få kelvin der inne. Forbausende mange fleratomære forbindelser har kunnet overleve her. Kjemien i de mørke tåkene er følgelig av den største interesse.

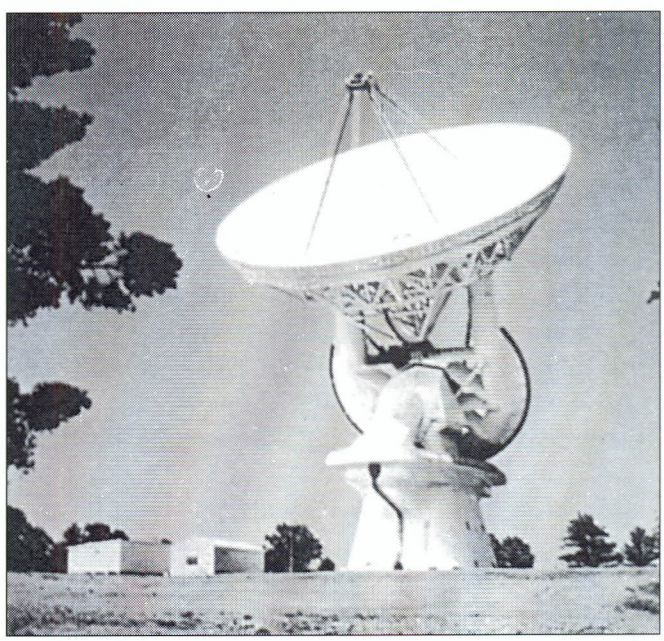
Prototyper på mørke tåker fulle av molekyler er foruten OMC-1 (1 500 lysår fra Jorden), Taurus Molecular Cloud-1 (TMC-1) i retning mot stjernebildet Tyren (380 lysår borte), Sagittarius B2 (Sgr B2) og Sagittarius A (Sgr A) i retning mot Skytten, i det galaktiske sentrum (30 000 lysår borte).

Da de mørke tåkene absorberer praktisk talt all kortbølget stråling i UV og i det synlige spektralområdet, kan disse delene av det elektromagnetiske spektrum ikke benyttes til spektroskopisk identifikasjon. Derimot vil stråling i de lavfrekvente infrarøde-, mikrobølge- og radiobølgeområdene unnslippe. Særlig er emisjonsspektrene i mikrobølgeområdet nyttige. Langt de fleste forbindelser er blitt identifisert fra slike spektre. Disse spektrene oppstår når molekylenes rotasjonsenergi-tilstander endres.

I de cirkumstellare tåkene rundt gamle, døende stjerner kan både temperaturen og trykket være høye. Lignende forhold finnes også i de områdene av tåkene der nydannelse av stjerner skjer. Mens det stort sett er organiske molekyler som er påvist i de mørke tåkene, er også noen uorganiske molekyler funnet i de cirkumstellare tåkene. Tåken rundt den gamle karbongenererende stjernen med den astronomiske betegnelsen IRC+10216 (490 lysår borte) er prototypen på en slik molekylrik tåke.

"Fingeravtrykkene" fra tåkene

Det sier seg selv at å foreta en identifikasjon av et molekyl som kanskje er millioner av lysår borte fra Jorden. og til stede i nærmest homøopatiske konsentrasjoner, er en teknologisk bragd. Moderne radioteleskoper (se figur 3) er i stand til å detektere ekstremt svak mikrobølgestråling fra verdensrommet i et spektralområde som strekker seg fra



Figur 3. Radioteleskopet til National Radio Observatory, Greenbank, West-Virginia, USA. Parabolantennens diameter er 43 meter. Dette telskopet har påvist mange interstellare molekyler. Bildet er tatt fra ref. 5.

ca. 0,5 til 1000 GHz. Det er helt avgjørende at teleskopene kan måle emisjonsfrekvensene med tilnærmet den samme ekstremt store nøyaktighet som man kan med en mikrobølgespektrograf, hvor frekvensmålinger rutinemessig blir gjort med fra 7 til 10 signifikante sifre. Ved å korrigere for dopplerforskyvning, som skyldes at Jorden og de interstellare molekylene beveger seg i forhold til hverandre, kan vi regne ut de nøyaktige hvilefrekvensene. Disse blir så sammenlignet med frekvenser fra tilordnede mikrobølgespektre. En slik sammenligning blir ofte gjort for et stort antall frekvenser. Dersom en serie signaler stammer fra et bestemt interstellart molekyl, skal 7–10 sifre fra verdensrommet vise fullstendig overensstemmelse med dem som er målt i mikrobølgelaboratoriet for hvert eneste signals vedkommende. De utrolig svake signalene blir således møtt med utrolig høye krav til overensstemmelse. Det er dette som gjør identifikasjonen så definitiv, hevet over enhver tvil.

Noen andre karakteristiske trekk ved mikrobølgespektrene må nevnes. For det første må et molekyl ha et elektrisk eller magnetisk dipolmoment for at det skal ha et mikrobølgespektrum og således kunne detekteres. Intensiteten til en spektrallinje er proporsjonal med kvadratet av dipolmomentet. Dette betyr at det er lettere å påvise molekyler med stort dipolmoment enn molekyler med lite dipolmoment. Upolare molekyler som f.eks. H_2, O_2, N_2, CO_2, etylen og acetylen, lar seg følgelig ikke påvise ved denne metode. Disse molekylene er identifisert på annen måte, ofte via deres IR-spektre.

Mikrobølgespektrenes egnethet gjør at radioastronomene ønsker seg flest mulig tilordnede spektre som dekker et størst mulig spektralområde. Det foregår et utstrakt samarbeid mellom radioastronomer og mikrobølgespektroskopikere for å fremskaffe det best mulige frekvensmateriale. Spesielt viktig har det vist seg å være at det faktisk er mulig å tilordne mikrobølgespektrene til en lang rekke reaktive kationer, radikaler og molekyler. Disse reaktive spesiene vil heretter bli kalt transienter. Det er først og fremst det lave gasstrykk som brukes i mikrobølgespektroskopien (ca. 10^{-6} atm), som gjør studium av slike transienter mulig.

Rike funn og eksotisk kjemi

Siden påvisningen av ammoniakk i 1968 er til nå i alt ca. 120 forskjellige interstellare molekyler blitt funnet. Stadig kommer nye til. Status i slutten av 1996 er gitt i tabell 1. Innholdet i tåkene varierer

Tabell 1. Molekyler[a)] funnet i verdensrommet inntil oktober 1996

HYDROGEN

H_2

MOLEKYLER SOM INNEHOLDER C OG H

CH	C≡C	C≡CCH	$(C≡C)_2H$	$(C=C)_2=C$	
CH^+	C≡CH	$H_2C=C=C$	$H_2C=CC≡C$	$(C≡C)_3H$	
CH_2	HC≡CH	$H_3CC≡CH$	$(C≡C)_2CH$	$(C≡C)_3CH$	
CH_4	$H_2C=CH_2$	C=C=C	$H_3C(C≡C)_2H$	$(C≡C)_4H$	
	$H(C≡C)_2H$	C=C=C=C=C			

MOLEKYLER SOM INNEHOLDER O, C OG H

OH	$(C≡C)_2CO$	CH_3OH	CH_3CO_2H
H_2O	HCO	HCO_2H	CH_3OCH_3
H_3O^+	HCO^+	CH_2CO	CH_3COCH_3
CO	H_2CO	CH_3CHO	HC≡CCHO
CO^+	$HOCO^+$	CH_3CH_2OH	HCO_2CH_3
C=CO	H_2C_2O	CO^+	C≡CCO
			C_5O

MOLEKYLER SOM INNEHOLDER N, C OG H

NH	$HCNH^+$	CH_3CN	$H_3CC≡CCN$	
N_2H^+	CH_2NH	CH_3NC	$H(C≡C)_2CN$	
NH_3	CH_3NH_2	C≡CCN	$H_3C(C≡C)_2CN$	
CN	NH_2CN	HC≡CCN	$H(C≡C)_3CN$	
HCN	HCCN	HC≡CNC	$H(C≡C)_4CN$	
HNC	CH_2CN	CH_3CH_2CN	$H(C≡C)_5CN$	
NH_2		$H_2C=CHCN$		
		HNC=C=C		
		$HC≡CCNH^+$		

MOLEKYLER SOM INNEHOLDER O OG N

NO, HNO, HNCO, NH_2CHO, N_2O

MOLEKYLER SOM INNEHOLDER S, Si OG ANDRE GRUNNSTOFFER

SO, SO^+, SN, CS, H_2S, OCS, HCS^+, H_2CS,
CH_3SH, HNCS, C_2S, C_3S, HCl, PN, SiS, SiO,
SiC, SiN, SiH_4, SiC_4, CP, NaCl, AlCl,
KCl, AlF, MgNC, MgCN, NaCN

[a)] Tatt fra referansene 2, 1 og 7.

både når det gjelder hvilke molekyler som finnes, og konsentrasjonen til de enkelte molekyler. Hver tåke har følgelig sin helt spesielle kjemi.

Av listen ser vi at forbindelser som er bygget opp av hydrogen-, oksygen-, karbon-, nitrogen-, silisium- og svovelatomer, er det flest av. Dette stemmer godt overens med den kosmiske fordeling av grunnstoffene. Forbindelser som inneholder isotoper som D, ^{13}C, ^{17}O, ^{18}O og ^{15}N, er påvist i mange tilfeller. Enkle molekyler som CO, NH_3, HCN, H_2O og formaldehyd, forekommer hyppig i verdensrommet og er påvist i hundrevis av tåker. CO er det nest mest hyppig forekommende molekyl (etter hydrogen) og finnes i alle tåker som hittil har vært undersøkt. Forholdet mellom antall CO og antall hydrogenmolekyler er omtrent 1 : 10 000 og synes å være tilnærmet konstant i de forskjellige tåkene.

Omtrent en fjerdedel av de interstellare molekylene (tabell 1) er uorganiske, bygget opp av fra to til fem atomer. De fleste av dem er funnet i de cirkumstellare tåkene. Tre fjerdedeler er organiske forbindelser så som alkoholer, etere, karboksylsyrer, estere, aldehyder, ketoner, aminer, amider, iminer, cyanider, isocyanider og polyyner. De er funnet i

de mørke og/eller i de cirkumstellare tåkene. Det største molekylet som er funnet, er et cyanopolyyn, $H(C{\equiv}C)_5C{\equiv}N$, bestående av i alt 13 atomer. Dette lineære molekylet som altså har hele seks trippelbindinger på rekke og rad, er det største av en homolog serie, der også alle de mindre medlemmene er påvist (tabell 1).

Alle de organiske molekylene er rett-kjedede uten forgreninger. Ingen aromater er funnet. Det fins kun fire eksempler på ringer, nemlig $(H_2C)_2O$ (oxiran), C_2Si, C_3H_2 og C_3H. C_2Si ble funnet først av disse i en circumstellar tåke. Merkelig nok er cyclopropylidenradikalet, C_3H_2, ingen galaktisk sjeldenhet. Det er tvert imot påvist svært mange steder i universet, ofte i relativt store konsentrasjoner.

Legg merke til at nesten halvparten av de interstellare molekylene i tabell 1 er transienter. Det gjelder så å si alle ionene (utelukkende kationer er funnet) og radikalene, samt mange av svovelforbindelsene, for ikke å nevne de største cyanopolyynene. De mørke og de cirkumstellare tåkene er åpenbart yngleplass for transienter. Verdensrommet har følgelig ikke bare en rik kjemi; i jordisk målestokk er den for eksotisk å regne. Faktisk er en lang rekke molekyler først blitt identifisert i verdensrommet ved hjelp av radioastronomi før det ble mulig å fremstille dem i såpass "store" konsentrasjoner (10^{-6} atm) at de kunne studeres i en mikrobølgespektrograf. Dette er paralleller til historien om helium. Eksempler er HCO^+, NH_2^+, HCS^+, HCO_2^+, C_2H, C_5H, C_3N, C_2Si og C_4Si o.a. som altså alle først fikk sine mikrobølgespektre tilordnet utelukkende fra astronomiske observasjoner. Det fins også enkelte molekyler som til og med bare er funnet i verdensrommet. $H(C{\equiv}C)_5C{\equiv}N$ er et slikt eksempel. De som har forsøkt å syntetisere denne forbindelsen, har alle sittet igjen med lang nese.

Syntesene av transienter har som oftest vært meget krevende. Ofte ligger flere års slit i laboratoriet bak en vellykket syntese. Erfaringer fra disse syntesene kan benyttes i andre deler av kjemien. Sånn sett har transientene gitt kjemifaget et løft.

Det er nok så at eksistensen av mange av transientene i tabell 1 har vært tippet, men en god del av dem har dukket opp nærmest som troll av eske. Det gjelder f.eks. alle de tre tidligere omtalte ringene og de største cyanopolyynene.

De sære reaksjonmekanismene

Spørsmålet om hvordan interstellare molekyler oppstår, ble stillet fra første dag av. Reaksjonsmekanismene er kompliserte og helt annerledes enn dem som f.eks. foregår i vann. Det knytter seg stor usikkerhet til mange av de foreslåtte mekanismene. Nedenfor er gitt noen eksempler på mekanismer som er relativt godt etablert.

Det er den lille fluksen av kosmisk stråling som er den viktigste drivkraften bak reaksjonene. Frie elektroner er også av stor betydning. En typisk reaksjonssekvens starter med at hydrogenmolekylet eller heliumatomet blir ionisert:

$$H_2 + \text{kosmisk stråling} \rightarrow H_2^+ + e^- + \text{kosmisk stråling}$$

H_2^+ kan så reagere videre med H_2:

$$H_2^+ + H_2 \rightarrow H_3^+ + H$$

H_3^+ spiller en nøkkelrolle i dannelsen av interstellare molekyler. Når det reagerer med atomært oksygen, nitrogen eller karbon, kan en god del av de observerte forbindelsene i tabell 1 oppstå. Når H_3^+ f.eks. reagerer med et oksygenatom, dannes H_3O^+. Reaksjon med et elektron kan da gi vann. Reaksjonen mellom H_3^+ og et nitrogenatom gir NH_3^+ som kan reagere videre og gi NH_2 -radikalet, ammoniakk og ammoniumionet.

CO, som finnes i alle tåker og benyttes til å bestemme deres konsentrasjon av molekyler, tror man dannes fra reaksjonen: $CH + O \rightarrow CO + H$.

C^+ er antagelig viktig for å bygge opp karbonkjeder. Dette ionet dannes trolig ved en reaksjon mellom He^+ og CO: $He^+ + CO \rightarrow C^+ + O + He$.

C^+ kan så reagere f.eks. med metan, eller eventuelt med et annet hydrokarbon:

$$C^+ + CH_4 \rightarrow C_2H_2^+ + H_2;\ C_2H_3^+ + H$$

CH_3^+ er et annet kation som spiller en nøkkelrolle i den astrokjemiske molekyloppbygningen. Et eksempel er følgende: $CH_3^+ + C_nH_{2n+2} \rightarrow C_{n+1}H_{2n+5}^+ + H_2$.

Synteser av forbindelser med cyano-, isocyano- og amino-gruppene mener man starter på to forskjellige måter: $C^+ + NH_3 \rightarrow H_2CN^+ + H$, eventuelt $CH_3^+ + N \rightarrow H_2CN^+$ fulgt av reaksjon med et elektron: $H_2CN^+ + e^- \rightarrow HCN, HNC + H$.

Det er antatt at den gjennomsnittlige levetiden til et molekyl neppe er mer enn noen titalls år. Dette kommer av at tåkene er dynamiske kjemiske

systemer der det samtidig foregår både dannelse og nedbrytning av molekyler. Ionisert helium, He^+, antas å ha en nøkkelrolle i nedbrytningsprosessen. Reaksjonen mellom He^+ og CO (se ovenfor) som ga C^+, He og O, er typisk for den rollen He^+ spiller i nedbrytningsprosessene.

I tillegg til gassfasekjemien slik den meget ufullstendig er skissert ovenfor, er trolig reaksjoner på støvet av stor betydning. I de mørke tåkene virker støvet som de reneste kjølefeller der atomer, molekyler, ioner og radikaler blir adsobert. Vi vet at i hvert fall noen av forbindelsene ikke blir i isen for all fremtid, men at det finnes desorpsjonsmekanismer tilbake til gassfasen, selv for andre forbindelser enn det meget flyktige H_2.

Hvor mange interstellare molekyler er det egentlig mulig å finne, og hvor mange av dem er transienter? I dag er situasjonen den at vi trolig har funnet de fleste av de forholdsvis små stabile molekylene som det er mulig å detektere med dagens teknikker. Noen til som fins i relativt lave konsentrasjoner, vil vi nok finne som en følge av de raske tekniske forbedringene, men ingen regner med at dette vil bli et veldig stort antall.

Tilbake står det imidlertid en masse sterke, utilordnede spektrallinjer. Alle regner med at opphavet til dem stort sett er transienter. Det har vært tippet at det med dagens teknikker er mulig å påvise grovt regnet 100 forbindelser til, de aller fleste transienter. Det er svært vanskelig å forutsi hvilke transienter det faktisk dreier seg om.

Astrokjemien har gitt astronomien en ny dimensjon. Dette er typisk for den rollen kjemi har spilt for andre vitenskaper. Tidligere har kjemi gitt en helt annen innsikt, nærmest en radikal nivåhevning, i det ene fag etter det andre – farmasi, geologi, biologi, medisin og meteorologi. Med astrokjemien er turen nå kommet til astronomien.

Var interstellare molekyler opphav til livet?

Ett er sikkert: Vann og organiske molekyler er en forutsetning for at liv skal kunne oppstå. Begge deler finnes i mengder i tåkene. Dette har gitt hypotesemakerne vann på møllen. Liv oppstod egentlig "alt for fort" etter at Jorden ble skapt tatt i betraktning de forholdene som da rådet her. Fikk Jorden hjelp utenfra? Var de interstellare molekylene det egentlige opphavet til livet på Jorden? Ble forløperne til liv brakt hit med kometer som i en tidlig fase av Jordens eksistens formelig bombarderte den? Mesteparten av kometene er vanlig is. For eksempel innholder Hale–Bopp-kometen mer vann enn det finnes i Østersjøen. Kometene inneholder også tonnevis med vidt forskjellige organiske molekyler. Mer ideelt "såkorn" enn kometer finnes knapt.

I tillegg til kometene, kan meteoritter som treffer Jorden i meget stort antall hver eneste dag, ha spilt en rolle. Jorden treffes dessuten hele tiden av store mengder kosmisk støv. Både støvet og meteorittene kan ha bragt med seg organiske molekyler samt vann. Også de andre himmellegemene i vårt solsystem utsettes for et lignende bombardement som det som blir Jorden til del. Årets påvisning av vann på Månen er således ingen overraskelse.

Vårt solsystem med sine planeter er neppe unikt i universet, heller typisk. Dette er nå en utbredt oppfatning. Da ligger det også godt til rette for at de livgivende interstellare molekylene bokstavelig talt kan regne ned fra himmelen nær sagt hvor som helst.

Jeg retter herved en takk til avdelingsingeniør Anne Horn, UiO, for den hjelp hun har gitt meg med denne artikkelen.

Litteratur

1. E. Herbst: *Chemistry in the interstellar medium.* Annu. Rev. Phys. Chem. **46**, 27–53 (1995)

2. D. Smith: *The ion chemistry of interstellar clouds.* Chem. Rev. **92**, 1473–1485 (1992)

3. S. Saito: *Laboratory microwave spectroscopy of interstellar molecules.* Appl. Spectrosc. Rev. **25**, 261–296 (1989-90)

4. G. Winnewisser and E. Herbst: *Organic molecules in space.* Topics in Current Chemistry **139**, 121–172 (1987)

5. M. Winnewisser: *Interstellare Moleküle und Mikrowellenspektroskopie I & II.* Chemie in unserer Zeit nr. 1, s. 1–16, nr. 2, s. 55–61, (1984)

6. H. Møllendal: *Kjemi mellom stjernene.* Kjemi **8**, 16–21 (1996)

7. G. Winnewisser: *Interstellar and laboratory spectroscopy in the terahertz region.* J. Mol. Struct. **408/409** 1–10 (1997)

∞

Strålingsdosimetri med ESR-spektroskopi

Eli Olaug Hole *

ESR-dosimetri for måling av ioniserende stråling finner stadig nye bruksområder. Metoden baserer seg på å utnytte elektron-spinn-resonans (ESR) for å detektere stabile strålingsinduserte radikaler. Innenfor gitte grenser er mengden av radikaler proporsjonal med stråledosen. Metoden kan benyttes både til industriell og medisinsk doseovervåkning, til katastrofedosimetri, datering, og til deteksjon av bestrålte matvarer.

Ioniserende stråling

Røntgenstråling og naturlig radioaktivitet er i løpet av de 100 år som er gått siden deres oppdagelse, blitt viktige faktorer innen både forskning, industri, medisin og i dagliglivet.[1,2]

Siden mengden av stråling (*stråledosen*) som skal til for å oppnå en gitt effekt varierer med bruksområdene, er det viktig å benytte korrekte doser i hvert enkelt tilfelle. Skal en f.eks. bestråle en matvare for å drepe salmonella, er det viktig at stråledosen er høy nok til dette, men ikke så høy at matvaren forringes.

Absorbert dose defineres som den midlere energi som er deponert pr. masseenhet. Enheten er Joule pr. kg, og kalles *Gray* (Gy). Dersom en vekter den absorberte dosen med en faktor som tar hensyn til at energiavsetningen varierer med strålekvaliteten, kalles den *ekvivalent dose*. Den har også enheten Joule pr. kg, men kalles *Sievert* (Sv).[3]

Ulike dosimetriformer

Det finnes mange måter å måle stråledoser på, og hvilken metode som er best avhenger av situasjonene. Ved måling med *ionisasjonkamre* måles ionisasjonen i luft. Dette gir en nøyaktig dosebestemmelse i luft, men det er en ulempe at medier som bestråles vanligvis er svært forskjellige fra luft. *Fricke-dosimetri* er en annen vanlig dosimetriform. Med denne metoden måles oksydasjon av Fe^{2+} til Fe^{3+}, og konsentrasjonen av Fe^{3+}-ioner vil være et mål for den absorberte stråledosen. Ved oppvarming av *termoluminescensdosimetre* (TLD) vil strålingsinduserte frie elektroner og hull rekombinere under utsendelse av lys, og lysintensiteten vil være et mål for den absorberte stråledosen. En ulempe ved denne metoden er at lysintensiteten varierer med tiden etter bestråling, samt at prøven kun kan måles én gang. En fjerde målemetode er *ESR-dosimetri*. I denne metoden måles stabile strålingsinduserte frie radikaler. Mengden av disse benyttes som mål for den absorberte stråledosen. En fordel med metoden er at antall stabile radikaler er relativt konstant og at dosimetret kan avleses gjentatte ganger siden det ikke endrer seg.

Et ideelt dosimeter skal oppfylle en lang rekke kriterier med hensyn til bl.a. presisjon, stabilitet, doserate, strålingsenergi, strålingstype, bestrålings- og lagringstemperatur. Det bør være lett og raskt å utføre eksponering så vel som avlesing av dosimetret, og det bør kunne kalibreres mot en standard. Det finnes ikke noe ideelt dosimeter, men ESR-dosimetri hevdes å være den metoden som best oppfyller kravene til et ideelt dosimetrisystem.

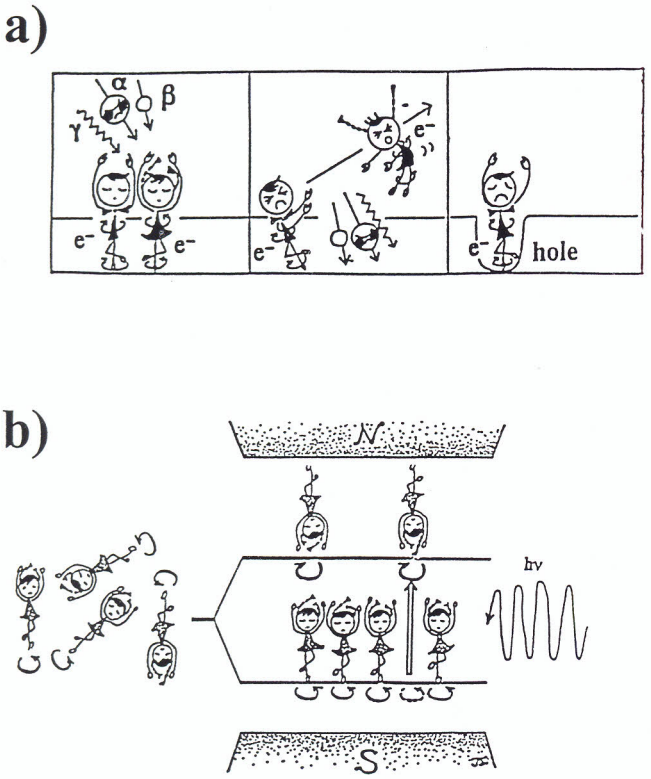
ESR-spektroskopi

I molekylære system vil elektronene normalt opptre parvis i kjemiske bindinger. Når et slikt system utsettes for ioniserende stråling vil mediet ioniseres, dvs. at et elektron sparkes ut, og et uparet elektron (samt et hull) blir tilbake i molekylet, som illustrert i figur 1a. Et molekyl med et uparet elektron kalles for et *fritt radikal*.

ESR er en målemetode som er suveren for studier av frie radikaler i og med at den utnytter de magnetiske egenskapene til de uparede elektronene som dannes når ioniserende stråling vekselvirker med materien. Et elektron er en ladd partikkel som har et egenspinn $\underline{S}$. Gjennom disse fysikalske egenskapene har elektronet et magnetisk moment $\underline{\mu}$:

$$\underline{\mu} = -g\beta\underline{S}$$

*Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.



Figur 1. Illustrasjon av ESR-metodens prinsipp. a) Bestråling av et elektronpar med ioniserende stråling resulterer i et uparet elektron. b) Uparede elektroner har et magnetisk moment med en vilkårlig orientering. Dersom en stor ansamling av uparede elektroner plasseres i et ytre magnetfelt, vil de fleste innrette seg med spinnet parallelt med feltet, men også noen vil innrette seg med spinnet antiparallelt med feltet. Overganger mellom disse to tilstandene kan induseres ved å tilføre en energi $h\nu$ tilsvarende energidifferansen mellom de to tilstandene (fritt etter figurer av M. Ikeya, ref. 7).

der g er en karakteristisk konstant og β er Bohr-magnetonet $e/2m_e$. I en kjemisk binding, hvor det er parvise elektroner, er elektronenes magnetiske momenter rettet slik at de opphever hverandre. I et fritt radikal derimot, hvor det er et uparet elektron, vil nettomomentet være forskjellig fra null.

I en prøve med mange radikaler kan en se på de uparede elektronene som en ansamling av små dansende elementærmagneter, som vist i figur 1b. I et magnetfelt B, vil de vekselvirke med det pålagte magnetfeltet og deres magnetiske momenter vil rette seg inn enten parallelt eller antiparallelt med feltet. Disse to orienteringene er forbundet med tilstander som har litt forskjellig energi, og det vil være flest elektroner i den tilstanden som er forbundet med lavest energi. Energidifferansen mellom de to tilstandene er gitt ved:

$$\Delta E = g\beta B$$

der B er den magnetiske flukstettheten (dvs. styrken av magnetfeltet).

Det kan induseres overganger mellom de to energitilstandene hvis systemet utsettes for elektromagnetisk stråling med en energi $h\nu$, som nøyaktig tilsvarer energidifferansen ΔE mellom tilstandene.

$$h\nu = \Delta E = g\beta B$$

der ν er frekvensen til det elektromagnetiske strålingsfeltet. Fenomentet kalles *resonans*, og ligningen ovenfor kalles følgelig *resonansbetingelsen*.

Sannsynligheten for stimulerte overganger er den samme uansett hvilken vei overgangen skjer; men siden det i utgangspunktet er flest elektroner i det laveste energinivået, og ulike prosesser opprettholder denne populasjonsdifferansen, vil det være flere elektroner som hopper fra nedre til øvre energinivå enn fra øvre til nedre nivå. Det finner følgelig sted en *netto energiabsorbsjon* fra strålingsfeltet. Det er denne energiabsorpsjonen som utgjør et ESR-signal.

En ESR-absorpsjon avhenger av de uparede elektronenes nære omgivelser. Dersom det finnes kjerner med spinn I forskjellig fra null i nærheten av uparede elektroner, vil disse kjernenes magnetiske momenter og det uparede elektronets magnetiske moment kunne vekselvirke med hverandre. Slike vekselvirkninger fører til at den enkle energiabsorbsjonslinjen som en får ved resonans fra det uparede elektronet alene, blir splittet opp. Oppsplittingen vil være karakteristisk for hvilke kjerner elektronet vekselvirker med, antallet av slike kjerner, samt for styrken av koplingen til de forskjellige kjernene. Ulike radikaler vil således gi opphav til forskjellige ESR-spektra.

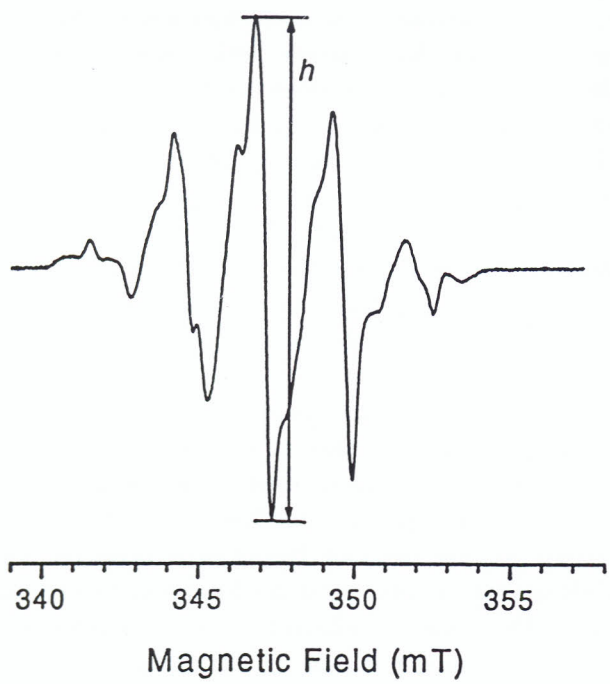
De fleste frie radikalene som dannes ved bestråling, er svært ustabile og har i løpet av få sekund etter dannelsen reagert med omgivelsene og dannet *diamagnetiske* (ikke-radikale) produkter. I slike tilfeller vil det normalt ikke kunne observeres noe ESR-spektrum selv om stråledosene har vært svært høye. Det finnes imidlertid en del forbindelser der det dannes meget stabile radikaler, og det er disse forbindelsene som kan benyttes til ESR-dosimetri.

ESR-dosimetri

ESR-dosimetri for måling av ioniserende stråling baserer seg på å utnytte elektronspinnresonans for å detektere stabile strålingsinduserte radikaler. Innenfor gitte øvre grenser er mengden av radikaler

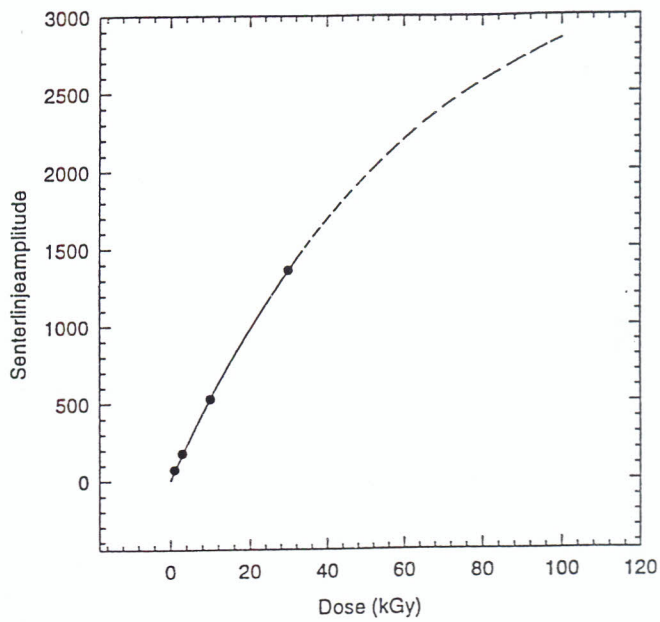
som dannes proporsjonal med stråledosen. Metoden kan benyttes både til industriell og medisinsk doseovervåkning, til retrospektiv katastrofedosimetri, til datering, og til deteksjon av bestrålte matvarer.

Intensiteten til et ESR-spektrum (dvs. arealet under energiabsorpsjonskurven) er proposjonal med antall uparede elektroner i prøven, og dette antallet er videre proporsjonalt med mengden av stabile radikaler i prøven. *ESR-signalets intensitet vil følgelig kunne være et mål for den stråledosen som er absorbert i mediet.* Et typisk eksempel på et ESR-spektrum er vist i figur 2. Figuren viser et førstederivert ESR-spektrum av bestrålt alanin (en aminosyre). Av tekniske grunner registrerer en vanligivs den deriverte av absorbsjonskurven slik at ESR-spektrets intensitet vil være proporsjonalt med den dobbeltintegrerte av den registrerte kurven. I en del tilfeller vil amplituden til linjene i det deriverte spektret være proporsjonal med arealet under absorbsjonskurven. I slike tilfeller rekker det å måle linjeamplituder, og den avmerkede amplituden i figur 2 kan således brukes som mål for den absorberte dosen.



Figur 2. Førstederivert ESR-spektrum av et bestrålt alanin-dosimeter. Den avmerkede amplituden h benyttes vanligvis som mål for ESR-signalets intensitet, og gir et mål for absorbert stråledose.

Figur 3 viser et eksempel på en *kalibreringskurve* for ESR-intensitet som funksjon av absorbert dose. I dette tilfellet er det igjen aminosyren alanin som er brukt som ESR-dosimeter. ESR-signalets intensitet for et sett referansedosimetre som er bestrålt med kjente doser, plottes som funksjon av dose og gir en kalibreringskurve. Når kalibreringskurven er kjent, kan en ukjent dose til et alanin-dosimeter bestemmes direkte ut fra ESR-spektrets



Figur 3. Kalibreringskurve for bestrålt alanin. Kurven viser ESR-intensitet som funksjon av absorbert dose. Amplituden h av senterlinjen (se figur 2) er brukt som mål for intensitet. For doser under 10 kGy er sammenhengen mellom amplitude og dose tilnærmet lineær. For høyere doser er den eksponentiell.

intensitet og den etablerte kalibreringskurven. Det er tilstrekkelig å bruke relative enheter for linjehøyden ettersom kalibreringskurven og de ukjente dosimetrene måles samtidig.

ESR/alanin-dosimetri

Den mest kjente formen for ESR-dosimetri er trolig ESR/alanin-dosimetri hvor en måler stabile strålingsinduserte radikaler i alanin. Allerede i 1962 ble det foreslått å bruke alanin som strålingsdosimeter, men det var først omkring 1980 at alanin-dosimetre ble tatt i bruk i noe større skala. I dag benyttes metoden bl.a. ved sterilisering av emballasje og medisinsk utstyr, ved matvarebestråling, ved industriell strålingsprosessering og ved strålingsovervåkning i industri og forskningsanlegg. (I CERN er alaninkabler brukt til å overvåke både stråledoser og ozonkonsentrasjoner i LEP-akseleratoren.) Som en følge av den store interessen for ESR/alanin-dosimetri, har ledende

spektrometerfabrikanter utviklet egne bordspektrometre for kommersiell bruk.

Japaneren Miagawa har viet store deler av sitt liv til studier av radikaldannelsen i alanin, $CH_3CH(NH_2)COOH$. Når alanin ioniseres, frigis det elektroner som kan fanges opp av andre ikke-ioniserte alaninmolekyler. Dette negativt ladde produktet er ustabilt og spalter av en aminogruppe. Etter en reorientering av det nydannede produktet dannes det stabile alanin-radikalet $CH_3C^{\cdot}HCOOH$. Dette var lenge ansett for å være det eneste stabile radikalet ved romtemperatur, men det ble nylig kjent at det dannes minst ett radikal til som er stabilt ved romtemperatur. Dette "nye" radikalet er dannet ved en netto hydrogen-abstraksjon fra centralatomet $CH_3C^{\cdot}(NH_2)COOH$. Det stabiliseres omlag like mengder av de to radikalene, og det er mengden av disse radikalene som gir et mål for den absorberte dosen.

ESR/alanin-dosimetri er i dag den formen for dosimetri som best tilfredsstiller kravene til gode dosimetre for måling av ioniserende stråling.[4–6] Alanin har høy stråleføLsomhet, og gir derfor rom for deteksjon av relativt små stråledoser. Foruten en meget høy presisjon i dosebestemmelse, har alanindosimetrene en doserespons som er lite avhengig av faktorer som strålingsenergi, dose, doserate, temperatur og tid mellom bestråling og avlesing. Dosimetrene ødelegges ikke ved avlesingen som er relativt hurtig å utføre. ESR/alanin-metoden ble i utgangspunktet utviklet for måling av γ-stråling, men videreutvikles nå for bruk med røntgen-, elektron-, proton- og nøytronstråling.

Figur 3 viser kalibreringskurver for alanindosimetre. For doser under 10 kGy vil sammenhengen mellom linjehøyde og dose være tilnærmet lineær, mens den for høyere doser vil være eksponentiell.

ESR/alanin som klinisk dosimeter

I tillegg til gode dosimeteregenskaper som nevnt ovenfor, har alanindosimetrene en atomær sammensetning som er svært lik den atomære fordelingen i vev. Dette har bidratt til å vekke de medisinske miljøene med tanke på klinisk dosimetri i forbindelse med strålebehandling, og det arbeides derfor med muligheter for klinisk bruk, både for intern og ekstern dosemåling.

Ved all form for klinisk strålebehandling er dosimetrien kritisk. For å oppnå den ønskede effekt, f.eks. å fjerne en svulst, er det nødvendig at hele svulsten mottar en relativt høy dose. Det er imidlertid nesten like viktig at stråledosen til det friske vevet omkring svulsten blir minimal. Ved *brachyterapi* bestråles svulstene direkte fra radioaktive kilder som implanteres i kroppen. Det arbeides med mulighetene for å kunne bruke et vevsekvivalent fantom som inneholder alanin. Med et slikt fantom kan man i prinsippet måle dosen på et hvilket som helst sted i fantomet *før* behandlingen utføres, og en kan således forsikre seg om at alle områder i svulsten mottar tilstrekkelig høy dose, og at områdene utenfor ikke belastes mer enn akseptabelt.

ESR/alanin som sekundærstandard

Det internasjonale atomenergibyrået IAEA driver en dosesikringsservice som betyr at strålingsbrukerne over hele verden kan få sjekket sine kalibreringssystemer, og forsikre seg om at utstyret de bruker leverer den dosen det skal. Dette innebærer at dosebestemmelser gjort på ulike innstallasjoner kan sammenliknes med en standard.

Etter en meget kritisk vurdering av ulike dosimetrimetoder, besluttet IAEA i 1985 å innføre ESR/alanin-dosimetri som både *sekundærstandard* (referanse) og *transfer-dosimeter* for industriell bruk av ioniserende stråling for doser over 100 Gy. Med dette valget av referanse og "transfer"-dosimtrimetode trenger brukerne, foruten sine egne strålingsfasiliteter, kun en liten alanintablett som etter bestråling sendes til IAEA (eller andre institusjoner med kalibreringssett) hvor den eksakte dosen kan bestemmes. Faktorer som energiuavhengighet, robuste materialer, og langsom reduksjon i signalintensitet, er viktige parametre i denne sammenheng siden dosimetrene må kunne tåle en langsom postgang i varme og fuktige omgivelser.

IAEA forsøker å innføre ESR/alanin-metoden også for doser lavere enn 100 Gy til medisinsk bruk. ESR/alanin-dosimetri er ennå ikke noen etablert metode i Norge, men ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, arbeides det med flere aspekt ved metoden.

Katastrofedosimetri

ESR-spektroskopi har også et stort potensiale som metode for katastrofedosimetri. Med katastrofedosimetri siktes det spesielt til måling av ikke-planlagte og ukontrollerte utslipp av radioaktive stoffer. Utgangspunktet for slike undersøkelser er at

det ofte stabiliseres radikaler når stråling absorberes i tørre stoffer, og at mengden av strålingsinduserte radikaler er proporsjonal med stråledosen.

Det er over tjue år siden det ble foreslått at ESR-spektroskopi på bestrålt organisk materiale kunne være en fruktbar metode for γ-dosimetri. Åtte år senere gikk ESR-laboratoriet ved Fysisk institutt, UiO, inn i historien som det første som noen gang benyttet ESR-dosimetri i forbindelse med en virkelig strålingsulykke.[8] Som et resultat av både teknisk og personlig svikt ble en mann ved Institutt for energiteknikk på Kjeller, i april 1982, utsatt for en dødlig stråledose fra instituttets Co-60 kilde. Dosen ble bestemt ut fra ESR-spektroskopi på sukkerholdige tabletter som mannen hadde i bukselommen.

Personer i stråleutsatte yrker vil normalt være overvåket ved hjelp av film, ionisasjonskamre, eller andre former for persondosimetre, slik at deres doser ved mindre ulykker kan bestemmes rimelig enkelt. Ved Kjeller-ulykken var det så store doser involvert at filmdosimetret ble overeksponert og kun en minimumsdose kunne fastsettes. Ved mer omfangsrike ulykker derimot, hvor store mengder radiaktive isotoper slipper ut i omgivelsene, vil det normalt være enkeltindivider som *ikke* har båret persondosimetre som vil utsettes for en ekstra strålebelastning. I slike tilfeller vil det være en absolutt fordel både helsemessig og samfunnsøkonomisk, å kunne foreta presise dosebestemmelser for enkeltindividene. Tsjernobyl-ulykken viste klart behovet for å kunne utføre lokale, pålitelige dosebestemmelser i løpet av kort tid.

Siden ulykken på Kjeller i 1982, hvor sukkerholdige nitroglyserintabletter ble benyttet som dosimetre, er både legemsdeler og andre sukkerholdige produkter blitt benyttet for retrospektiv dosimetri. Basert på husholdningssukker er det gjort doseestimat i områder omkring Tsjernobyl etter ulykken i 1986. Også etter ulykken i Estland for noen få år siden, der en høyaktiv radioaktiv kilde ble stjålet fra en skraphandler og deretter etterlatt i en kjøkkenskuff, ble dosen til dødsofferet og de overlevende beregnet på bakgrunn av radikaldannelse i husholdningssukker.

De ulike sukkerartene er av spesiell interesse fordi disse ofte er stråleføIsomme og gir et høyt utbytte av stabile strålingsinduserte radikaler, og dessuten er flere sukkerarter en viktig bestanddel i de fleste husholdninger.

Det drives utstrakt forskning for å finne materialer som er godt egnet for ESR-basert katastrofedosimetri.[4–7] Både klær, knapper, negler, tenner, bein og hår har vært vurdert som dosimetre. Nå er det bein og tenner som synes å være mest i skuddet.

Deteksjon av bestrålte matvarer

Deteksjon av bestrålte matvarer er ved siden av ESR/alanin-dosimetri trolig den mest anvendte formen for ESR- dosimetri i dag.[5,9,10] Allerede i 1905 kom det første patentet for matvarebestråling, og i dag er slik bestråling tillatt i mer enn 35 land.

Bestråling av matvarer gjøres for flere formål. Den kan f.eks. forlenge levetiden ("shelf life") for et produkt. Dette kan være av stor betydning i u-land hvor lagrings- og kjølingsmulighetene ofte er dårligere enn hva vi er vant med, og hvor matvarene på grunn av lav omsetning, kan bli lagret svært lenge før de selges. Ved kontrollert bestråling kan således kassasjon av fordervet mat reduseres, og næringverdien/kvaliteteten kan opprettholdes lenger enn om matvarene ikke bestråles. En annen hensikt med bestråling av matvarer kan være å tilintetgjøre mikroorganismer og parasitter som trikiner, bendelorm og salmonella. Det er dette nytteaspektet som er bakgrunn for bestråling av krydder i Norge. Et potensielt misbruk er "forbedring" av lavkvalitetsprodukter ved bestråling.

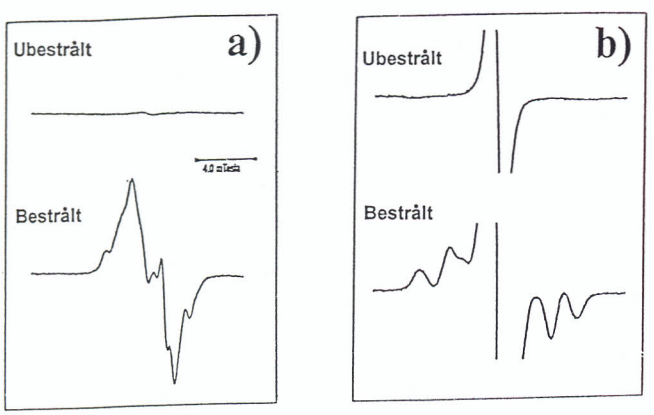
Til tross for en utstrakt bruk av matvarebestråling er det svært forskjellige regler i de enkelte land; heller ikke EU-landene har kunnet enes om én lovgivning. Mens f.eks. Nederland tillater bestråling av 10 matvaregrupper, er ingen matvarer tillatt bestrålt i Tyskland. I Norge er bare bestråling av krydder tillatt. Den store variasjonen i bestrålingspraksis kombinert med en økende fri flyt av varer, har økt behovet for å kunne bestemme hvorvidt en matvare er blitt bestrålt. Internasjonale regler har satt 10 kGy som maksimalt tillatt dose ved matvarebestråling, men det er mange matprodukter som har fått lavere maksimumsgrenser for å forhindre at næringsverdi, smak eller lukt forringes. For å verifisere hvorvidt en matvare har vært bestrålt, eventuelt at korrekte doser har vært benyttet, er det viktig å kunne detektere *hva* som er bestrålt og også med hvilke *doser*.

ESR og bestrålte matvarer

I en rekke matvarer vil det ved bestråling dannes stabile radikaler, og ESR-spektre fra disse matvarene vil derfor kunne fortelle hvorvidt et produkt

er bestrålt eller ikke. Ettersom ESR-signalenes form varierer avhengig av hva slags radikaler som er dannet, vil det også være mulig å identifisere *hva* som er bestrålt i et blandingsprodukt (f.eks. paprika i en gryteblanding). I tillegg er det mulig å fastlegge bestrålingsdoser for en del produkter. Metoden er hurtig og ikke-destruktiv og utfyller andre metoder der disse ikke strekker til. ESR-dosimetri benyttes i dag internasjonalt til rutinemessig overvåking av matvarer og er bl.a. å finne ved de aller fleste matvarekontroll-laboratoriene i Tyskland.

Figur 4a viser ESR-spektret for ubestrålte og bestrålte dadler. En del stoffer inneholder stabile radikaler *før* de blir bestrålt. Dette representerer ikke noe problem såframt ESR-spektrene fra disse radikalene er forskjellige fra de som dannes ved bestråling. Et eksempel på en matvare som inneholder radikaler allerede før bestråling, er dill. ESR-spektret fra ubestrålt og bestrålt dill er vist i figur 4b.



Figur 4. Førstederiverte ESR-spektra av ubestrålte og bestrålte matvarer. a) Dadler. Spektrene viser at det ikke finnes nevneverdige mengder frie radikaler i ubestrålte dadler, og at signalet fra bestrålte dadler er svært markant. b) Dill. Spektrene viser at både ubestrålt og bestrålt dill gir opphav til sterke ESR-signaler, men at det er enkelt å skille de to spektrene siden spektret etter bestråling er bredere og inneholder flere linjer enn før bestråling.

ESR-metoden anses i dag for totalt sett å være den mest suksessfulle metoden når det gjelder deteksjon av bestrålte matvarer. Der andre metoder, som gasskromatografi og termoluminisens, ikke strekker til, representerer ESR-metoden et effektivt alternativ; spesielt innen matvaregruppene kjøtt, fisk, nøtter, tørket frukt, skalldyr, krydder, og egg er metoden meget vel egnet.

Datering

En annen viktig anvendelse av ESR-dosimetri er knyttet til geologisk og arkeologisk datering.[6,7] Basert på radikaldannelse indusert av naturlig bakgrunnstråling, kan en ved hjelp av ESR-dosimetri datere geologiske og arkeologiske funn. Datering av steinarter (dryppstein), koraller og skjell, samt skjeletter fra urtidsmennesker, er blant de mest oppsiktsvekkende anvendelser av metoden.

Metoden dekker en tidsperiode som er relativt dårlig dekket av andre dateringsmetoder, dvs. fra ca. tusen til ca. en million år bakover i tid. Metoden baserer seg på at naturlig bakgrunnstråling gir opphav til meget stabile frie radikaler (stabile over størrelseorden 10^6 år). Ut fra kjennskap til bakgrunnstrålingens doserate, kan en beregne hvor lang tid det har tatt for å danne den mengden av radikaler som er representert ved ESR-spektrets intensitet.

Referanser

1. Ellen Karoline Henriksen: *Fra Crookes' rør til computertomograf – Røntgendiagnostikk før og nå.* Fra Fysikkens Verden, **57**, 99–104 (1995)
2. Trygve Holtebekk: *100 år med Becquerel.* Fra Fysikkens Verden, **58**, 37–43 (1996)
3. Eli Olaug Hole: *Effekten av ioniserende stråling: Påliteligheten av risikoberegninger ved lave doser.* Fra Fysikkens Verden, **55**, 43–50 (1993)
4. Applied Radiation and Isotopes, **40** 10-12 (1989)
5. Applied Radiation and Isotopes, **44** (1/2) (1993)
6. Applied Radiation and Isotopes, **47** (11/12) (1996)
7. Motji Ikeya: *New Applications of Electron Spin Resonance: Dating, Dosimetry and Microscopy.* World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. (1993)
8. E. Sagstuen, H. Theisen, and T. Henriksen: *Dosimetry by ESR spectroscopy following a radiation accident.* Health Physics, **45**, 961–968 (1983)
9. *Detection of irradiated food containing bone, Method by ESR spectroscopy.* European standard, Final draft, prEN 1786 E (1996)
10. *Detection of irradiated food containing cellulose, Method by ESR spectroscopy.* European standard, Final draft, prEN 1787 E (1996)

∞

Bokomtale

Stephen Hawking: Univers uten grenser. Illustrert og utvidet utgave. J.W. Cappelen Forlag A/S, 1997 (248 sider) 349 kr.

Keiser Hawkins nye klær

Fysikeren Stephen Hawking er av massemedia blitt utnevnt til en guddom. En får nærmest inntrykk av at den stakkars krøplingen rager tårnhøyt over sine kolleger i fysikersamfunnet. Sannheten er ganske enkelt at Hawking til tross for sitt fysiske handikap makter å beholde sin posisjon som en av verdens fremste fysikere. Men folket vil ha guder, og sensasjonshungrige journalister har forvandlet Hawking til en verdensfjern gullkalv for naive tilbedere.

Den populærvitenskapelige boka til Hawking "Univers uten grenser" er det mange som har kjøpt, færre som har lest og få som har forstått. Det ble til og med utgitt ei bok som hevder å forklare hva det er Hawking egentlig vil ha fram. Jeg mener at boka til Hawking er et ærlig stykke arbeid, men ikke spesielt vellykket. Denne boka er nå kommet i praktutgave. Den har fått et spennende tilleggskapittel om muligheten for såkalte 'markhull' i universet, der en kan reise til fortiden eller ta seg fram til universets utposter på et øyeblikk.

Den nye utgaven av boka er utstyrt med vakre fargetegninger som muligens kan bidra til å konkretisere noe av det stoffet som er mest vanskelig tilgjengelig. Det som særmerker begrepene i kvantemekanikken er nemlig at fysikerne her prøver å forstå en verden som ikke lar seg anskueliggjøre. Mikrokosmos er alldeles ikke noen miniatyr-verden av våre omgivelser. En kan ikke lage et bilde av noe som både er en partikkel og en bølge. Likevel har materien både bølge- og partikkelnatur.

I alle fall er det faktisk mer hyggelig å lese boka nå; det er liksom mer liv i den. Den forrige utgaven virket grå og trist. Men fargen til tross, på side 100 er den symbolske tegningen for oppkvarken feilaktig. Det kan bare skyldes ren slurv, noe jeg også har funnet et par andre steder. Verre forholder det seg med bildet av området rundt Supernova 1987a. Her påstår teksten at en kan se en ny nøytronstjerne. Enhver som følger med nyhetene i den astrofysiske litteraturen fra denne supereksplosjonen, vet at nettopp *savnet* av signaler fra en ny nøytronstjerne er ganske gåtefullt.

Hawking har heller ikke forandret teksten der han hevdet at Gamow, Bethe og Alpher i et berømt arbeid fra 1948, forutsa at det måtte finnes èn kosmisk bakgrunnstrålig på et par grader over det absolutte nullpunkt. Dette arbeidet inneholder slett ingen slik spådom. Det var Alpher og Herman som kom med denne viktige spådommen i et annet arbeid fra 1948. Denne sjuskete omgangen med historiske fakta ble strengt framholdt av Alpher og Herman i 1990, og denne irritasjonen burde nok Hawking ha merket seg. Æres den som æres bør!

Hawing bruker mange steder begrepet Gud. Dette har da sammenheng med at moderne kosmologi mener å ha belegg for at universet faktisk hadde en begynnelse. Big Bang kalles nå dette fantastiske øyeblikket. Fysikkens lovmessigheter forteller oss hva som skjedde ganske nær selve "skapelsen", men fysikerne bør være villige til å innrømme at vi er ganske uten kunnskap om ursmellet. Generell relativitetsteori forutsier sitt eget sammenbrudd her. Kvantemekanikk kombinert med gravitasjon forteller også at rom og tid egentlig blir meningsløse begreper når vi kommer nær nok startøyeblikket for universet.

Så jeg synes heller ikke Hawking gir noe tilfredsstillende svar på *hvorfor* universet eksisterer. Riktignok innfører Hawking noe han kaller 'imaginær tid', og han mener visstnok at universet da blir uten begynnelse omtrent slik som det også er meningsløst å spørre om hva som er nord for nordpolen på jordkloden. Men ingen kan da vel feste slik lit til et matematisk hjelpemiddel at en mener at verdens skjebne forandres alt etter våre matematiske redskaper? En forandrer neppe tidens natur med en matematisk operasjon på papiret. Hawking benytter rett og slett en ikke-eksisterende teori for kvantegravitasjon for å komme fram til at universet er genseløst i tiden. Dette er virkelig å skyve uhumskheten som Big Bang representerer, under et imaginært teori-teppe.

Standard tolkning av kvantemekanikken er at måten en observerer et fenomen på, får den såkalte bølgefunksjonen til å kollapse, og før det skjer, kan en knapt påstå at fenomenet har reell eksistens. Men hvilken observatør utenfor tid og rom får selve det altomfattende universets bølgefunksjon til å kollapse? Hawking tyr til Feynmans betraktning der partiklene ikke følger noen bestemte baner, men alle *tenkelige* baner er på sett og vis innblandet i forflytningen.

Hawking kommer inn på beslektede betraktninger i det nye kapitlet om mulige tidsreiser. Han

får da problem-paradokset med at en som drar tilbake til fortiden, kan sørge for at han selv aldri blir til. En mulig løsning for å slippe unna paradokset, er at vår frie vilje ikke eksisterer. Men da er vi også uten ansvar. Da får Gud ta skylda som den svenske trubadur synger: "Somliga går med trasiga skor. Säj, vad beror det på? Gud fader som i himmelen bor, kanske vil ha det så." En alternativ løsning er at verden i ethvert punkt i tid og rom faktisk deler seg opp i en mangfoldighet av verdenshistorier. Alt som er mulig, skjer virkelig, men hendelsen finner sted i forskjellige univers som ikke kan utveksle informasjon. Den tidreisende som griper inn i historiens gang for å skape et paradoks, følger da ikke historien framover i sitt forrige tidrom, men havner i et annet univers med en annen historie.

Jeg er heller ikke med på at et univers uten grenser i tid og rom, ikke har bruk for noe dypere prinsipp fordi dette universet bare *er*. Hawking sier at det er knapt noen oppgave for skaperen å bare velge startbetingelser og grunnprinsipper for verdensutviklingen. Da har vi nemlig den slags Gud som vår svenske trubadur synger om: "Gud fader som i himmelen bor, blundar och sover sött. Vem bryr sig om et par trasiga skor, när man är gammal och trött?"

Saken er at vi slett ikke vet hvorfor det eksisterer noe som helst. Vi vet ikke en gang hvorfor det finnes regelmessigheter som vi kaller naturlover. Med vår begrensede kunnskap kan vi ikke si noe om hva slags tilstand universet var i ved ursmellet da de kjente naturlover ikke virket. Men vi vet at startbetingelsene var slik at det oppstod vesener som kunne fundere over sin egen eksistens. Det virkelig mystiske er ikke *hvordan* verden er, men *at* den er. Det svarer ikke Hawking på, men studér teksten og våg å tenke selv!

Henning Knutsen

∞

Konferanse

Beyond the Standard Model V

Den feirede Standardmodellen i partikkelfysikk har bestått alle eksperimentelle etterprøvninger med glans. Modellen representerer et gjennombrudd i forskningen i partikkelfysikk etter femti- og sekstiårenes famlende forsøk på å forklare den stadige voksende flora av elemetærpartikler funnet takket være nye akselleratorer og eksperimentelle teknikker.

Likevel er partikkelfysikerne ikke tilfreds med situasjonen. På tross av sin elegante forening av elektromagnetisme og svake kjernekrefter, er det for mange frie parametre i teorien. For eksempel kan ladninger og masser velges fritt. Dette betyr at det ikke finnes noen god forklaring på hvorfor elektronets ladning er lik protonets, eller hvorfor protonets masse er nesten to tusen ganger elektronets. Videre kan fraværet av antimaterie i universet vanskelig forklares innenfor modellen. Mekanismen for generering av masse – higgsmekanismen – er heller ikke eksperimentelt verifisert. Hensikten med konferanseserien "Beyond the Standard Model" er å presentere og diskutere mulige utvidelser av teorien som kan gi innsikt i noen av problemene nevnt ovenfor. Tidligere konferanser i serien har alltid vært avholdt i Amerika. Denne tradisjonen er nå brutt, idet den femte konfeansen ble avviklet på Kviknes hotell i Balestrand, ved Sognefjorden, fra 30. april til 4. mai 1997. Konferansen samlet nesten hundre deltakere fra hele verden.

Som det fremgår av det ovenstående, er dette først og fremst en teorikonferanse. Imidlertid ble det denne gangen også lagt inn statusrapporter fra de større eksprimentelle installasjonene rundt om i verden – en rekke av disse er nå inne i en fase der nye energiområder utforskes. Følgelig ble de seneste resultater fra CERNs LEP presentert, der en stadig skyver nedre grense for massen til higgspartikkelen oppover. Samtidig setter en også nedre grenser for massen til partikler som er forutsagt av utvidelser av standardmodellen, som f.eks. supersymmetri. Hvis teorien om supersymmetri er riktig, skal det nemlig eksistere like mange supersymmetriske som 'vanlige' partikler. Men til nå har en ikke funnet noen av disse.

Imidlertid er direkte søk ikke den eneste måten å få innsikt i nye teorier på. Det ble også forklart hvordan presisjonsdata legger føringer på f.eks. supersymmetriske modeller. Kilden til disse presisjonsdataene er først og fremst LEP, men observasjonen av sjeldne henfall av B-mesoner via såkalte 'penguin'-diagrammer (data fra CLEO, Cornell, USA) gir også meget følsomme føringer på teoriene. For å kunne utføre beregninger i de nye modellene (i og for seg også innen standardmodellen), må en vanligvis ty til approksimasjoner. En må erstatte den fullstendige teorien med en såkalt 'effektiv' teori.

Ved konferansen ble det hevdet at vi kanskje må leve med slike 'effektive' teorier, og at vår søken etter en teori som forklarer 'alt' muligens er for ambisiøs.

Stor interesse ble viet resultater fra positron–protonkollisjoner ved HERA i Hamburg. Begge eksperimentene ved denne maskinen har sett en håndfull 'events' som i mai 1997 ikke hadde noen naturlig forklaring. Det dreier seg om for hyppig produksjon av 'events' ved store impulsoverføringer. Eksperimentene kunne ikke utelukke at det dreier seg om produksjon av en ny partikkel, og naturlig nok florerer spekulasjonene rundt dette blandt teoretikerne. En gjennomgang av forslagene til forklaring ble presentert. Disse inkluderer forslag om eksistens av leptokvarker, og spekulasjoner om at en endelig har funnet en supersymmetrisk partikkel. Imidlertid ville en da bryte en hyppig brukt antakelse, nemlig at produksjon av supersymmetriske partikler alltid skal foregå parvis, og de fleste regner det vel for lite sannsynlig at dette er den korrekte fortolkning. Vi må her nevne at de aller siste data fra HERA, presentert ved konferanser siste sommer, tyder på at disse eventene snarere er en fluktuasjon enn et reelt signal.

Standardmodellen brukes nå også av kosmologer for å beskrive prosesser som fant sted nær universets begynnelse. Vi fikk en meget interessant gjennomgang av status, med vekt på at nye data er i ferd med å komme inn. En venter at disse dataene innen få år vil gi ny og avgjørende innsikt på dette feltet.

Fysikken ved fremtidige akselleratorer ble også diskutert. Dette inkluderte prosjekter under oppbygging, slik som LHC og de nye B-meson fabrikkene. B-meson fabrikkenes hovedmål er å observere, og kvantifisere brudd på symmetrien mellom materie og antimaterie (CP-brudd) i systemer av B-mesoner. Som sagt venter kosmologer at denne asymmetrien er større enn man kan få til innen standardmodellen, og stor interesse knyttes til resultatene. Foreslåtte prosjekter som en ny lineær elektron–positron-maskin og myon-akselleratorer, ble også presentert.

Undertegnede sitter igjen med inntrykk av at konferansen var meget vellykket. Deltakerne virket meget fornøyde med både det faglige og det sosiale programmet. Det siste inkluderte et isbrebesøk og besøk på bremuseet i Fjærland. Initiativtaker til å få lagt konferansen til Norge var professor Per Osland, som også ledet organiseringen av konferansen sammen med professor Gerald Eigen. Den store internasjonale kontaktflate som disse to til sammen representerer, var av stor betydning for sammensetningen av det meget gode faglige programmet. Jeg tillater meg å sitere organisatoren av neste års konferanse i serien (i Alabama USA), som omtalte årets konferanse som "The best conference in the BSM series ever".

Konferansen ble støttet av Norges forskningsråd og av Nordita.

Bjarne Stugu

∞

Kommentar

Misvisende om fysikk og filosofi

En kommentar til Olav Steinsvoll: To kulturer på kollisjonskurs, FFV 4/97.

I Fra Fysikkens Verden nr. 4 1997, gir Olav Steinsvoll en oversikt over deler av den pågående, internasjonale debatten om naturvitenskapenes forhold til andre vitenskaper og til samfunn og kultur generelt. Han nevner også diskusjonen som gikk forut for etableringen av den nye Examen philosophicum ved NTNU i Trondheim, og i den forbindelse kommer han med et par spark til "filosofene". Blant annet antyder han at undertegnedes artikler i *Universitetsavisa* 1996/97 kanskje er uttrykk for en slags "dekonstruksjon" av moderne naturvitenskap.

Denne framstillingen av debatten i Trondheim er fullstendig feilaktig. I virkeligheten argumenterte jeg for det som gjerne kalles vitenskapelig *realisme*, nemlig det syn at fysiske krefter, felt eller virkningsmekanismer er helt reelle fenomener og ikke bare teoretiske konstruksjoner med en instrumentell eller sosiokulturell funksjon. Dette dreier seg om en gammel, vitenskapsteoretisk debatt som ikke har noe som helst med "dekonstruksjon", astrologi, alternativt landbruk eller andre motefenomener å gjøre. Men i stedet for å gå inn på innholdet i disse spørsmålene, gjentar Steinsvoll bare skjellsordene fra debatten dengang.

Jeg – og flere med meg – er ærlig talt nokså lei av denne debattformen, og jeg forstår ikke behovet for å gå i skyttergravene straks det antydes at også naturvitenskapene åpner problemstillinger som man ikke finner noen direkte svar på i naturvitenskapene selv. Steinsvoll viser til mine første innlegg, samt til en rekke krasse motinn-

legg, og så *unnlater* han å nevne avslutningsinnlegget der jeg relativt utførlig prøver å rydde opp i misforstelsene og redegjøre for hva de ulike standpunktene innebærer. Det sto i *Universitetsavisa* nr. 4 1997, under tittelen "Om nøyaktige lover og unøyaktig polemikk", og kan leses på Internett:*http://www.ntnu.no/universitetsavisa/nr4/*

Truls Wyller
Filosofisk institutt, NTNU

∞

Olav Steinsvoll svarer:

Jeg beklager at jeg ikke hadde fått med meg T. Wyllers siste innlegg i min oppsummering av debatten i Universitetsavisen, NTNU. Artikkelen fantes ikke i den kopisamlinga jeg baserte innlegget mitt på. Jeg håper at min "glipp" ikke forhindrer at det kommer i gang en fruktbar diskusjon mellom fysikere og filosofer.

Olav Steinsvoll

∞

Nye Doktorer

Tor Haugset

Sivilingeniør Tor Haugset har tatt dr.scient.-graden i teoretisk fysikk ved Universitetet i Oslo med avhandlingen *Quantum Effects in Confined Many-Particle Systems at Low Temperature.*

Hoveddelen av avhandlingen presenterer studier av Bose–Einstein-kondensasjon i systemet av svakt vekselvirkende bosoner i ytre harmoniske potensialer. Studiene er motivet av de senere års lavtemperatureksperimenter med alkaligasser, der man så sent som i 1995 for første gang gjorde klare observasjoner av Bose–Einstein-kondensasjon. I avhandlingen utledes analytiske uttrykk for egenskaper som spesifikk varme og kondensatfraksjon som viser hvordan disse størrelsene avhenger av partikkeltall og potensialform.

Haugset viser også hvordan fenomenet kan beskrives ved hjelp av veiintegralformalisme, en metode hentet fra høyenergifysikk. I arbeidet vises hvordan en konsistent beskrivelse ved endelig temperatur oppnås med en reorganisering av standard pertubasjonteori. Metoden reproduserer resultater funnet ved andre metoder, og kan lett utvides.

Videre tar avhandlingen for seg systemer av få vekselvirkende bosoner i en og to dimensjoner. Det vises hvordan eksitasjonsenergier og tetthetsprofil avhenger av partikkeltall og vekselvirkningsstyrke. Resultatene, som er funnet ved numeriske beregninger, er sammenliknet med middelfelt-approksimasjoner og enkelte eksakte verdier. Det viser seg at middelfelt-prediksjonene er relativt gode for større partikkeltall.

Avhandlingen inneholder også et studium av todimensjonal QED i sterkt ytre magnetfelt med vekt på beskrivelse av magnetiseringen som funksjon av magnetfeltstyrke og temperatur. Det vises her bl.a. hvordan de Haas – van Alphen oscillasjoner opptrer ved lave temperaturer og svake magnetiske felt.

Arbeidet er utført ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, under veiledning av professor Finn Ravndal.

Tor Haugset ble utdannet siv.ing. ved Avd. for fysikk og matematikk, NTH, i 1991. Han arbeider nå som konsulent i Scanpower A/S.

∞

Trim i FFV

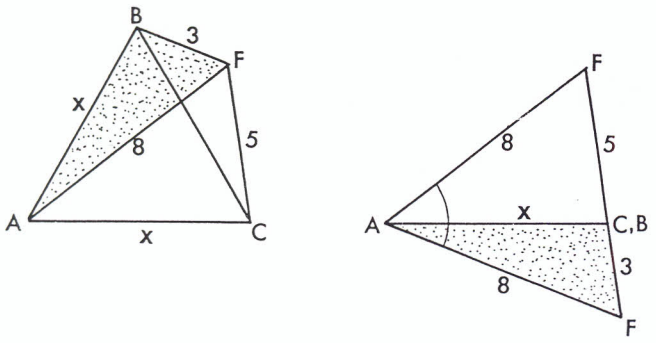
FFVT 2/98

"Sirkelens kvadratur" er å konstruere et kvadrat med samme areal som en gitt sirkel, et velkjent, uløselig problem. Dagens oppgave går i motsatt retning ("kvadratets sirkulatur"):

Gitt et kvadrat. Konstruer et areal som er begrenset av to sirkelbuer og er like stort.

Løsning FFVT 1/98

Tre gårder A, B og C, ligger like langt fra hverandre. Avstandene fra gårdene til stedets fjernsynsmast F er henholdsvis 8 km, 3 km og 5 km, som figuren til venstre viser. Oppgaven gikk ut på å bestemme avstanden x mellom gårdene.



Flytt $\triangle ABF$ på nedsiden slik at siden AB faller sammen med siden AC (høyre figur). Trekanten AFF må da være en likesidet trekant siden to av sidene er 8 km og den mellomliggende vinkel ved A er 60°. Fordi $5+3=8$ vil punktet C,B ligge på den rette linjen mellom F og F. Vinklene ved F er da også 60° og den utvidede pytagoreiske setning gir for den største trekanten AFC:

$$x^2 = 8^2 + 5^2 - 2 \cdot 8 \cdot 5 \cos 60° = 64 + 25 - 40 = 49.$$

Altså er avstanden x mellom gårdene lik 7 km. En kan naturligvis like gjerne benytte den minste trekanten.

∞

Hva skjer

Rondablikk-seminaret 1998

Det tolvte Rondablikk-seminaret i kondenserte fasers fysikk og kjemi avholdes på Rondablikk Høyfjellshotell 17–20. september 1998. I tillegg til postere og 15 min. foredrag av innsendte bidrag, er bl.a. følgende inviterte foredragsholdere klare:

Prof. Mats Johnson, Chalmers Universitet
Prof. Yurij Galperin, Universitetet i Oslo
Prof. Alex Hansen, NTNU
Prof. Knut. Jørgen Måløy, Universitetet i Oslo
Prof. Helmer Fjellvåg, Universitetet i Oslo
Forskningssjef Arne Skjeltorp, IFE

Det er planlagt ytterligere 3–4 inviterte foredrag. Det vil óg avholdes en ettermiddagsdiskusjon om hvordan forskere bedre kan komme i kontakt med massemedia for å synliggjøre sin forskning overfor bevilgende myndigheter, med representanter fra pressen til stede.

Påmelding *senest 1. sept.* 1998, til Asle Sudbø, Institutt for fysikk/Gløshaugen, NTNU, 7034 Trondheim. E-mail: Asle.Sudbo@phys.ntnu.no Fax: 73 59 77 10.

Asle Sudbø
Gruppe for kondenserte fasers fysikk
Norsk Fysisk Selskap

∞

Seminar i petroleumsfysikk

holdes på Strand Hotel Fevik, 20–22. august, 1998. Registrering 20/8 kl. 14.00, og møtestart kl. 16.00. Avslutning 22/8 ca. kl. 12.00.

Priser pr. døgn: 895 kr i enkeltrom, 695 kr i dobbelt. Medfølgende 495 kr når delt. bet. enkeltromspris.

Deltakeravgift: 200 kr for stud., 600 kr for tilsatte ved univ., høgsk. og forskningsinst., 1000 kr for industritilsatte. Økonomisk støtte til studenter.

Inviterte foredragsholdere og foreløpige titler:

Jill S. Buckley, PRRC, New Mexico Tech., Socorro: *Wetting in oil reservoirs and the role of asphaltenes.*

Mary Coles, Mobil Tech. Center, Dallas: *The use of synchrotron radiation to study flow in porous media.*

Jean-Pierre Hulin, Univ. Paris, Orsay: *Tracer dispersion in the flow of newtonian and shear thinning fluids through fractured and heterogeneous media.*

Unni Oxaal(?), NLH: *Strømning i porøse media.*

Steve Pride, Univ. Rennes, France: *The electrokinetics of porous media.*

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

∞

Nytt fra NFS

Nye medlemmer tatt opp 17. april 1998:

Ordinære NFS-medlemmer:

Audun Bakk
Øyås, 7084 Melhus

Torkild Eriksen
FFI/E, Pb. 25, 2007 Kjeller

Svein Arne Frivik
NTNU, O.S. Brokstadplass 2b, 7034 Trondheim

Jannicke Hilland
Chr. Michelsen Res. AS, Pb. 3, 5036 Fantoft

Kjetil Hus
5420 Rubbestadneset

Anders Karlsen
Tunveien 19/A11, 9018 Tromsø

Rolf Korneliussen
Havforskningsinst., Pb. 1870, Nordnes, 5024 Bergen

Kåre Langaas
Rogalandsforsk., Pb. 2503 Ullandhaug, 4004 Stavanger

Jørgen Leiknes
FV-B3, Statoil, 4035 Stavanger

Øystein Lund Bø
Rogalandsforsk., Pb. 2503, Ullandhaug, 4004 Stavanger

Medlemmer av NFL:

Torbjørn Andreassen
Mosjøen vgs., 8650 Mosjøen

Jorun Bjørndal
Lensmannsjordet 22, 9350 Sjøvegan

Gunnar Eide
Spjelkavik vgs., Langhaugen, 6011 Ålesund

Hallvar Figenschau
Liljeveien 4, 9100 Kvaløysletta

Hilde Havsjømoen
Teglverksbakken 7, 4032 Gausel

André Hedqvist
Åsveien 82, 9020 Tromsdalen

Thorger Henriksen
Langekil, 1684 Vesterøy

Tor Arne Holm
Skjettenveien 99 2013 Skjetten

Torleiv Holmen
Schultzgt. 12C, 0365 Oslo

Kjetil Idland
Nordstjerneveien 6, 0494 Oslo

Kjærand Iversen
Hersleth, 1850 Mysen

Jan-Petter Jørgensen
Elgv. 9, 2150 Årnes

Svein Erik Knudsen
Furuveien 14, 6500 Kristiansund N

Stein Løvold
Hartvig Nissens sk., Niels Juelsgt. 56, 0259 Oslo

May-Liss Olsen
Høgåsen 14, 7560 Vikhamar

Franck Pettersen
Solliveien 29, 9020 Tromsdalen

Anders Rekaa
Spinnesiden 52, 1508 Moss

Iori Roberts
Oslo internasj. sk., Pb. 53, 1341 Bekkestua

Kåre Rønbeck
Fuglenesveien 75, 9600 Hammerfest

Arne-Fred Solbekk
Kragerø vgs., 3770 Kragerø

Kristine Stenvold
Prinsessealleen 17, 0275 Oslo

Eva Stubbraaten
Lillestrøm vgs., 2000 Lillestrøm

Odd Ivar Størkersen
Grønnlivn. 1, 9007 Tromsø

Erik Svendsen
Normannsvei 24, 1678 Kråkerøy

Herman Svendsen
Toppseilveien, 17 A, 8013 Bodø

Dagrun Moen Synnes
Ramstadåsveien 20, 1322 Høvik

Sverre Tevedal
Åsenvegen 32b, 1400 Ski

Thorleif Thalberg
Merkurveien 12, 1734 Hafslundsøy

Anne Karin Thorstensen
Kringsjå st. by, 2a 200, 0864 Oslo

Lars Ødegård
Nordkjosbotn vgs., 9040 Nordkjosbotn

Eirik Ørbog
Rødsv. 29, 1776 Halden

∞

C-BLAD

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

No more impressive warning can be given to those who would confine knowledge and research to what is apparently useful, than the reflection that conic sections were studied for eighteen hundred years merely as an abstract science, without regard to any utility other than to satisfy the craving for knowledge on the part of mathematicians, and that then at the end of this long period of abstract study, they were found to be the necessary key with which to attain the knowledge of the most important laws of nature.

A. N. WHITEHEAD

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

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

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

Styremedlemmer:
Stipendiat Leni Grant,
Nordlysobs., Univ. Tromsø.
Førsteaman. Jan Petter Hansen,
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Førsteamanuensis Anders Isnes,
ILS, Univ. Oslo.

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

Fra Fysikkens Verden

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

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

Redaksjonskomité:
Professor Noralv Bjørnå,
Inst. f. mat. realfag, Univ. Tromsø.
Professor Anne Grete Frodesen,
Fysisk inst., Univ. Bergen.
Lektor Ingerid Hiis Helstrup,
Langhaugen skole, Bergen.
Professor Per Chr. Hemmer,
Inst. f. fys., NTHU (NTH), Trondheim.
Professor Egil Leer,
Inst. f. teor. astrofys., Univ. Oslo.

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

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