Fra Fysikkens Verden

Nr. 4 – 2002
64. årgang

Utgiver:
Norsk Fysisk Selskap

Redaktører:
Øivin Holter
Finn Ingebretsen

Redaksjonssekretær:
Karl Måseide

Innhold

Per Osland og Farid Ould-Saada:
Nobelprisen i fysikk 2002 102
Eivind V. Thrane:
40 år med raketter fra Andøya . 105
Øyvind Grøn:
Kvarkstjerner 110
Johan Moan og Asta Juzeniene:
Lys til kreftbehandling 116
Fra Redaktørene 98
FFV intervjuer 98
Trygve Holtebekk
In Memoriam 100
Leif Owren
Bokomtale 121
Trim i FFV 123
Nye Doktorer 124
Dr.scient. Odd Erik Garcia
Dr.scient. Lars Egil Helseth
Dr.ing. Sjur Mo
Hva skjer 126
Nytt fra NFS 127
Fysikermøtet 2003
fysikknett.no
Nye medlemmer

Andøya Rakettskytefelt er 40 år
(se artikkel)

ISSN-0015-9247

Fra Redaktørene

Det 20. århundre var kvantemekanikkens århundre. Teorien for å beskrive den atomære verden ble etablert og etter hvert raffinert, og det teoretiske grunnlaget for fantastiske utviklingsmuligheter ble lagt. Vår helt eventyrlige tekniske utvikling på nær sagt alle områder hadde aldri kunnet skje uten kvantemekanikken. Fundamentale erkjennelsesmessige problemer med konsekvenser som rystet mange langt inn i sjelen, hadde heller aldri tidligere vært reist mer overbevisende. Det er utvilsomt at en av de aller største intellektuelle bragder i menneskehetens historie ble utført av de store begavelser som sto for denne utviklingen.

Men, som med all menneskelig aktivitet, stilte også denne utviklingen vitenskapen overfor nye og uventede etiske konflikter; den nye viten revolusjonerte våre muligheter både til godt og ondt. Naturens minste byggestener ble fravristet en energi av et omfang som i et våpen kunne utslette byer – kjernevåpen ble et faktum.

Miljøet rundt Niels Bohr i København, var et kraftsenter i utviklingen av kvanteteorien i perioden før annen verdenskrig, og forskere fra dette miljøet endte opp på begge sider etter krigsutbruddet. Bohrs stjerneelev Werner Heisenberg, som ble leder av det tyske atomprogrammet, møtte sin lærer og nære venn Niels Bohr i København i 1941. Mysteriet rundt dette møtet er dramatisert av Michael Frayn i stykket "Copenhagen", og har nettopp vært vist i Oslo med en gledelig stor publikumsoppslutning.

Professor Gaute Einevold, NLH, har vært konsulent for den norske oppsetningen, og han sto i spissen for et seminar med flere fysikere som aktører lørdag 14. september. Vi registrerer med glede den store interessen for så vel seminaret som stykket, og skulle bare ønske at også media hadde fulgt opp og gjort dette tilgjengelig for alle. Stykkets suksess til tross, vi har fremdeles en trykkende følelse av at disse dramatiske hendelsene, dets aktører og ikke minst deres fantastiske intellektuelle bragder, ikke riktig er akseptert som viktige deler av vår kultur. Fremdeles blir vitenskapens menn og kvinner "zoologisert" – sett på som noe merkelig som befinner seg på den andre siden av et stengsel. Hvem som er foran og hvem som er bak stengselet, kan jo diskuteres.

∞

FFV intervjuer Trygve Holtebekk

Nestor i norsk kjernefysikk, professor emeritus Trygve Holtebekk, ble i forrige nr. av FFV gratulert med sin 80-årsdag. Holtebekk har i vel 40 år vært en sentral person ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Som student var han aktiv i studentpolitikken bl.a. som leder av Realistenes studentutvalg og Studentsamskipnadens studentstyre. Senere har han vært lærer ved Fysisk institutt og deltatt i instituttets administrasjon. I den anledning har FFV hatt et intervju med ham.

Fire sentrale personer i passiar da syklotronen ankom UiO (f.v.: A. Pappas, T. Holtebekk, R. Tangen og O. Bastiansen).

FFV: *Når begynte du dine realfagstudier?*

TH: Jeg begynte på realfag i Oslo i 1942, men ble avbrutt da okkupasjonsmakten stengte Universitetet i 1943. Jeg var blant dem som unngikk deportasjon, og flyktet til Sverige. Herfra ble jeg fløyet til Skottland, og ble sammen med mange andre sendt videre til Canada, der jeg ble utdannet til flynavigatør i "Little Norway" i Toronto.

Etter at jeg ble dimittert fra flyvåpenet, fortsatte jeg studiene i 1946 og avla hovedfagseksamen

i kjernefysikk i 1951. Min hovedfagsveileder var stipendiat Sven Oluf Sørensen. Oppgaven var å analysere fotografiske plater eksponert for kosmisk stråling i Alpene. Jeg så spesielt etter protoner og deuteroner fra kollisjoner mellom myoner og kjerner.

Når ble du ansatt ved instituttet?
Rett etter eksamen ble jeg vitenskapelig assistent hos Roald Tangen som nettopp var utnevnt til professor. Sammen med flere andre var jeg med på å bygge den "nye" Van de Graaff-akseleratoren (VdG). Kjernefysikk var i høyeste grad "i skuddet" på den tiden, og det var bevilget penger til en 4 MeV VdG til erstatning for Tangens 0,5 MeV VdG. For øvrig, den gang som alltid senere; den måtte begrunnes med mulige anvendelser innen medisin og andre fagområder. For å få maskinen til en overkommelig pris, ble den stort sett bygget av instituttets stab, og vi fikk dermed et grundig kjennskap til hvorledes den virket. Beklageligvis gjorde det at vi senere måtte bruke mye av vår tid på vedlikehold istedenfor på forskning. I 1957 ble jeg ansatt som amanuensis ved instituttet, og har fra da vært medlem av den faste staben.

Hva ble den "store" VdG-en brukt til?
Denne akseleratoren, som fremdeles står midt inne i fysikkbygningens vestfløy, var ferdig i 1954, og ble straks benyttet til eksperimenter i kjernefysikk. Resonansinnfangning av protoner i det vi nå kaller sd-skallet (masseområdet mellom $A = 16$ og $A = 40$) ble studert. Dette var en fortsettelse av Tangens pionerarbeide i lette kjerner. Vi tok spesielt for oss reaksjonen der protonet fanges inn i aluminiumkjerner, og danner høyt eksiterte silisumkjerner. Disse sender med en gang ut γ-stråler, som regel i kaskader via lavere energinivåer. Dette var en del av det første systematiske eksperimentelle arbeidet som ble gjort for å avdekke kjernenes detaljerte struktur. Vi var et ungt og entusiastisk team, og vi var i stand til å gjøre meget presise målinger av protonenes energi. Vitenskapelig var dette en veldig produktiv tid, og gruppen gjorde seg bemerket internasjonalt. På mange måter var det fremdeles en pionertid, der den som lagde det beste utstyret kunne hevde seg bra.

Hvordan målte dere γ-strålingen?
Til å begynne med brukte vi Geiger–Müller-detektorer, der γ-energiene ble bestemt ved bruk av absorbatorer. Rundt 1956–57 kom scintillasjonstellerne, der energioppløsningen var radikalt forbedret. Generelt har γ-spektroskopi gjennomgått flere radikale tekniske forbedringer. I begynnelsen av 60-tallet kom halvledertellere av germanium, og nok en gang ble de eksperimentelle mulighetene radikalt forbedret.

Du reiste til USA, hva gjorde du der?
Jeg fikk stipend fra NTNF og reiste i 1960 til University of Michigan, Ann Arbor. Der kom jeg inn i et nytt forskningsfelt, spektroskopi ved strippingreaksjoner. Dette er kjernereaksjoner der et proton eller et nøytron fanges inn i en bane i kjernen uten at resten av kjernen er vesentlig involvert. Skallmodellen for kjernen var utviklet såpass langt at man på denne måten kunne teste beregninger av partikkelkomponentene i bølgefunksjonene. Jeg studerte reaksjoner der et nøytron strippes av fra et deutron og fanges inn i en ^{31}P-kjerne mens protonet, som fortsetter utenfor kjernen, kan studeres og gi informasjon om reaksjonsforløpet. Hjemme i Norge disputerte jeg på dette arbeidet i 1962, og utvidet deretter "repertoaret" på den lokale VdG ved å gjøre strippingreaksjoner også her.

Hadde kjernefysikerne noen framtidsplaner på den tiden?
Den tekniske utviklingen på så vel detektorer, elektronikk (ikke minst digitalteknikk) og akseleratorer førte til at kjernefysikerne så seg om etter en erstatning for VdG-en. Det endte opp med et meget ambisiøst forslag om å bygge opp et større laboratorium rundt en stor tandem VdG. Dette var et forslag som ville flytte flere grenser i Norge, ikke minst finanser til grunnleggende forskning. Forslaget ble behandlet på alle nivåer og fikk stor støtte. Kjernefysikere, og sikkert også en del andre, holdt pusten. Men realitetsbehandlingen ble flere år på rad utsatt. De økonomiske forholdene ble vanskeligere, og vi fant til slutt å måtte trekke forslaget. Dette var umiddelbart en nedtur for miljøet, og etter hvert var det også noen som forlot faget.

Men du holdt ut og begynte ny planlegging?
Ja, etter noen år modnet et mindre ambisiøst forslag om en kompakt syklotron. Dette forslaget ble til en viss grad en reprise av tandemforslaget, men denne gangen ble "kampen kronet med seier". Dette til tross for at det i den tiden var ekstremt politisk korrekt å avvise alt som "hadde med atomer å gjøre". Syklotronforslaget ble til og med et tema i Stortinget! Også denne gangen var kravet at syklotronen skulle "brukes til noe nyttig", spesielt i nukleærmedisin. Jeg studerte mulighetene, og det var klart at vi på dette området kunne gi vesentlige bidrag. Flere forslag ble fremmet, men entusiasmen

i medisinermiljøet var vanskelig å oppdage. En lege på Ullevål sykehus i Oslo, brukte i noen år radioaktivt krypton fra syklotronen til undersøkelser av respirasjonsorganer, men dette ble slutt da han gikk av. Dette har imidlertid forandret seg i de senere årene, nå er syklotronen som isotopprodusent meget populær. – Syklotronen ble bestilt fra AB Scanditronics i Sverige, og ble akseptert i slutten av 1978.

Fortell om andre verv du har hatt ved instituttet!
Jeg vil spesielt nevne at jeg var undervisningsleder fra 1964 til 1980. I den tiden hadde jeg på en eller annen måte kontakt med nesten alle hovedfagstudentene ved instituttet, i tillegg til de ca. 30 som jeg selv har veiledet. Videre var jeg med i komiteen ved instituttet som planla opprettelsen av en forskningsgruppe for kybernetikk. Instituttet ønsket å strukturere et studium med utgangspunkt i den omfattende elektronikkaktiviteten i forskningsgruppene og for de studentene som hadde hovedfagsoppgave ved instituttene på Kjeller. Kybernetikk ble raskt en populær studieretning, og gruppen ble senere, sammen med avdeling for numerisk matematikk, til Institutt for informatikk. Fysikerne var ikke udelt begeistret for denne avskallingen, men den tvang seg etter hvert fram.

Du har også hatt andre verv utenfor instituttet?
Jeg har i en årrekke vært medarbeider og fagkonsulent i tre store leksika. Dette har vært et interessant arbeid der jeg har lært veldig mye. Videre har jeg vært formann i Norges Standardiseringsforbunds komité for fysiske størrelser. Norge har faktisk vært et foregangsland innen denne type standardiseringsarbeid, og mange av våre forslag har hatt internasjonalt nedslagsfelt.

Du har også hatt utenomfaglige verv og interesser?
Helt siden studietiden har jeg vært engasjert i kristelig arbeid. Først i Kristelig studentlag, senere i den lokale menighet jeg har bodd i, spesielt i Høvik som jeg har tilhørt i mange år nå. Jeg har også skrevet en del om problematikken rundt tro og viten. I så måte har fysikk vært et viktig og interessant fag. Fysikk er kanskje det av realfagene som har det største filosofiske nedslagsfeltet og har hatt en utvikling som har harmonert med min egen forståelse av denne problematikken. Kjennskapet til Bohrs komplementaritetsteori har lært meg mye om hvor forsiktig en skal være med å forkaste andres meninger, selv om de er forskjellige fra ens egne på mange måter. Jeg vil i den forbindelse nevne de mange nyttige samtaler jeg hadde med min tidligere elev og senere gode venn og kollega Kristoffer Gjøtterud, som var sterkt opptatt av disse spørsmålene.

Har du noen synspunkter på det reformarbeidet som nå pågår ved Universitetet?
Dette er ikke nytt. I hele min aktive karriere har det vært en nesten kontinuerlig reformarbeid. Tendensene har pendlet fram og tilbake, og en kunne være fristet til å si at "intet er nytt under solen". Forskjellen nå er at reformkravene i stor grad er politisk motivert og kommer ovenfra, mens de hittil alltid har vært faglig motivert.

I 1988 ble Holtebekk utnevnt til professor, og fra 1990 til han gikk av med pensjon i 1992, var han seniorstipendiat. I årene etter har han stadig holdt kontakten med instituttet og sin gamle forskningsgruppe. Vi vil igjen ønske Trygve Holtebekk til lykke med fylte 80 år, og vi håper at han lenge vil være så sprek at han kan holde den samme kontakten med den arbeidsplassen der han gjennom alle disse årene har nedlagt et imponerende og samvittighetsfullt arbeid.

∞

In Memoriam

Leif Owren (1918–2002)

Professor Leif Owren døde 7. januar 2002. Han var født den 16. juli 1918 på Bygdøy. Owren studerte ved Universitetet i Oslo og tok mag.scient.-graden med astronomi som hovedfag i 1948. I studietiden

var han også assistent for professor Carl Størmer i nordlysfotografering (1938–41) og nordlysspektrografi (1941–43). Han var vitenskapelig assistent ved Astrofysisk institutt fra 1943 til 1949 og universitetsstipendiat i astronomi 1949–1954. Professor Svein Rosseland foreslo at Owren skulle ta opp feltet radioastronomi, og etter noen innledende arbeider ved Universitet i Oslo ble det arrangert et studieopphold for ham ved School of Electrical Engineering ved Cornell University, New York, hvor han tok Ph.D.-graden i 1954 på avhandlingen "Observations of radio emissions from the sun at 200 Mc/s and their relation to solar disk features". Owren dro deretter tilbake til Norge og ble "Research Associate" ved Astrofysisk institutt.

I 1956 fikk Owren en stilling som Associate Professor ved Geophysical Institute, College, Alaska, for å arbeide med arktisk radiobølgeforplantning og solar radioastronomi. Han ble i juli 1960 professor i geofysikk og seinere professor i fysikk, ved University of Alaska. Han var også Department Head i tiden 1961–1964. Hans forskningsvirksomhet ved Geophysical Institute falt innen tre områder: Pulsteknikkundersøkelser av nordlysionisasjon og arktisk radiobølgeforplantning i HF-området, diffraksjonsundersøkelser av nordlysionosfærens struktur ved hjelp av radiostjerner og radiosignaler fra satellitter, og undersøkelser av solaktivitetens terrestriske virkninger.

I 1964 fikk Owren et professorat i radiofysikk og radioastronomi ved Dartmouth College, Hanover, New Hampshire. Der arbeidet han med undersøkelser av VLF-emisjoner ved de to geomagnetiske poler på feltstasjonene Vostok i Antarktis og Thule–Quanaq på Grønland.

Leif Owren ble i 1970 tilsatt som dosent ved Fysisk institutt, Universitetet i Bergen, og i 1985 ble han professor samme sted. I de mange år han oppholdt seg i USA, hadde han mesteparten av tiden vært engasjert i geofysiske problemer. I årene før han kom til Bergen deltok han imidlertid i en gruppe som studerte mulighetene for bruk av laserteknologi ved målinger av atmosfæriske gasser og industriutslipp. I Bergen satte han derfor relativt raskt i gang en utstrakt aktivitet innen optikk og laserteknikk, både i undervisning og forskning. En moderne utdannelse i optikk og elektrooptikk ble introdusert av Owren ved Fysisk institutt. Han innførte et bredt spektrum av hovedoppgaver, som kunne omfatte spredning av laserlys i gasser, holografi og bygging av nitrogenlasere for UV-lys.

Opprinnelig ønsket Owren å starte med atmosfæriske målinger av forskjellige utslippsgasser fra industrien ved hjelp av ramanspredning med laserlys. Metoden var den gang ikke attraktive ved rutineovervåkninger av gasser fra industrielle aktiviteter, da den fordret meget kostbart utstyr, men er i dag er metoden viktig innen miljøfysikk. Det ble innkjøpt en kraftig rubinlaser til ramanstudier av atmosfæriske gasser og lidarmålinger av høye skyer. Observasjon av oljesøl i sjøen var blitt et aktuelt tema i 1970-årene, og Owren satte i gang fjernmåling av oljesøl i 1975.

Leif Owren hadde en meget allsidig bakgrunn som forsker og hadde fysikk- og matematikk-kunnskaper med en bredde langt utover det vanlige. Dette fikk studentene til fulle dra nytte av i hans forelesninger. Han var en faglig inspirator for sine studenter og medarbeidere, og han hadde usedvanlig stort pågangsmot når det gjaldt å ta opp nye fagområder.

Owren gikk over i pensjonistenes rekker i 1988, men fortsatte å vise betydelig interesse for instituttets virksomhet. Ved Leif Owrens bortgang mistet vi en særpreget medarbeider som tilførte kollegene ved instituttet mange nye impulser. Vi husker ham framfor alt for hans entusiastiske og uredde vesen.

Ingar Singstad og Johan Stadsnes

∞

Framtidas fly?

I Norges forretningsreisemagasin HSMAI nr. 3.02, kan vi lese følgende om utviklingen av nye flytyper.

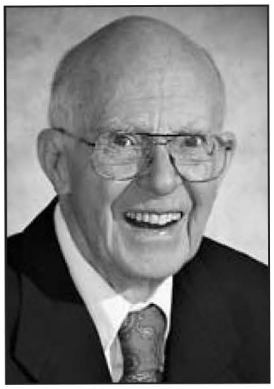
En russisk vitenskapsmann, Evgeni Podkletnov, arbeider med et prosjekt for å oppheve gravitasjonskraften. Dette høres kanskje som en røverhistorie, men både Boeing, NASA og den militære divisjonen av britiske BAe Systems forsker på det samme. Hvis et anti-gravitasjonssystem kan kobles til et fly, eller en rakett, skal det ikke store kreftene til å løfte luftfartøyet fra bakken. Hvis dette utvikles til å kunne benyttes kommersielt, vil det forandre luftfart og romfart fullstendig. – Ja, det skal være visst!

∞

Nobelprisen i fysikk 2002

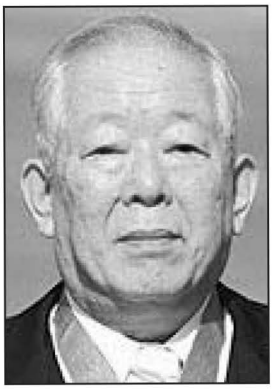
Per Osland og Farid Ould-Saada *

Nobelprisen i fysikk ble i 2002 gitt for to oppdagelser som begge har sammenheng med den usynlige del av vår verden: nøytrinoer fra verdensrommet (spesielt fra sola og fra supernovaen 1987A) og røntgenstråler fra verdensrommet (fra nøytronstjerner og andre eksotiske objekter). Personene som ble hedret er Raymond Davis Jr. (f. 1914) og Masatoshi Koshiba (f. 1926) for nøytriner, og Riccardo Giacconi (f. 1931) for røntgenstråler.



Raymond Davis Jr.

Riccardo Giacconi



Masatoshi Koshiba

Nøytrinoer fra rommet

Den første av disse usynlige verdenene angår nøytrinoet. Wolfgang Pauli oppfant motvillig denne partikkelen i 1930 for å kunne forklare en spesiell type reaksjon i atomkjerner. Men denne "desperate løsningen" bragte lykke for Enrico Fermi som brukte den for å forklare en av de fire kreftene i universet: den såkalte svake vekselvirkningen.

Ifølge teorien for hvordan sola produserer energi, som ble utviklet på slutten av 1930-tallet (Nobelpris til Bethe i 1967), skulle nøytrinoer komme ut som et biprodukt. Blant de elementærpartikler en kjenner, er nøytrinoene de minst håndfaste. De ble først oppdaget i 1955 av Cowan og Reines (sistnevnte fikk Nobelprisen i 1996). Det var nøytrinoer fra en fisjonsreaktor som ble detektert av Cowan og Reines, etter at de slo fra seg tanken på å detektere dem i forbindelse med en kjernefysisk eksplosjon!

At en stor nøytrinofluks var ønsket, har sammenheng med nøytrinoenes uhyre svake vekselvirkning med materie. Hvert sekund gjennomstrømmes hver kvadratcentimeter av 10^{10} nøytrinoer, hvorav de fleste kommer fra sola. Bare et fåtall av dem merkes. For eksempel, midlere fri veilengde for et nøytrino i flytende hydrogen er 1000 lysår. Akkurat denne egenskapen gjør nøytrinoene enda mer interessante. Mens vanlig stråling, som dannes i stjerner som sola, bruker over 10 millioner år for å nå overflaten, trenger nøytrinoene bare 2 sekunder. Dermed får vi viktig informasjon om kjernereaksjoner som holder liv i sola og om kollapser av massive stjerner i supernovaer.

Raymond Davis og Masatoshi Koshiba har klart den store utfordringen å detektere noen av disse nøytrinoene som bærer informasjon om fenomener som holder liv i stjerner og annet ute i verdensrommet.

Raymond Davis (ved University of Pennsylva-

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

nia i Philadelphia, USA) innså at deteksjon av nøytrinoer fra sola ville være essentiell for vår forståelse av stjernenes energiproduksjonen. Hans første nøytrinoeksperiment, ved Brookhaven på 1950-tallet, benyttet en tank med 3900 liter CCl_4 og detekterte nøytrinoer fra en reaktor. Det er kloratomene som påvirkes:

$$\nu + {}^{37}\mathrm{Cl} \rightarrow {}^{37}\mathrm{Ar} + e^{+} \qquad (1)$$

hvis energien er høy nok. Ved å boble helium gjennom væsken, kan argonatomene "samles opp" og telles.

Basert på estimater av nøytrinofluksen fra sola, spesielt av Bahcall, gikk så Davis i gang med et større eksperiment. Denne gangen brukte han 615 tonn med C_2Cl_4 (en rensevæske), installert i Homestake-gullgruven i Minnesota. Denne gruven ligger 1500 meter under bakken, derved blir annen kosmisk stråling sterkt redusert. Som nevnt reagerer nøytrinoene sjelden med materien, men ved å bruke et stort detektorvolum var Davis i stand til å ekstrahere i gjennomsnitt 17 argonatomer annenhver måned, fra et volum på 10^{30} kloratomer.

Eksperimentet tok data fra slutten på 1960-tallet til 1994. Det ble i løpet av denne perioden klart at Davis registrerte bare *mellom en tredjedel og halvparten* av det forventede antall nøytrinoer. Dette underskuddet var *solnøytrinoproblemet.*

Hvor var det blitt av nøytrinoene som manglet? Enten var det feil i de teoretiske modellene for hvordan stjernene – og særlig sola – fungerte, ellers måtte det være et annet fenomen som forklarte mangelen. Flere eksperimenter, hvert på sin måte, bekreftet at solmodellene ikke hadde skylden: Gallex i Italia, i det underjordiske laboratoriet i Gran Sasso, Sage i Russland og Kamiokande i Japan ledet av Masatoshi Koshiba som nå er blitt beæret med Nobelprisen.

Rundt 1980 ble mange eksperiment satt opp for å lete etter protonhenfall. Ifølge teorier for forening av alle naturkreftene skulle nemlig protoner ha en endelig levetid, av størrelsesorden 10^{32} år. En japansk gruppe, ledet av Masatoshi Koshiba (fra University of Tokyo), konstruerte en stor vanntank utstyrt med Tsjerenkovtellere, Kamiokandedetektoren. Den ble fylt med over 2000 tonn vann. I tillegg til proton-nedbrytning kunne denne detektoren også se nøytrinoer gjennom prosessen

$$\nu + e^{-} \rightarrow \nu + e^{-} \qquad (2)$$

hvor elektronet avgir karakteristisk Tsjerenkovstråling.

Dette ble mulig ved hjelp av følsomme fotomultiplikatorrør som ble utviklet.

Denne detektoren hadde to fordeler framfor den kjemiske metoden til Davis. For det første kunne hendelser registreres i sann tid (lykken smilte til Koshiba og hans gruppe som i 1987 registrerte 12 av de 10^{58} nøytrinoene som ble slynget ut under eksplosjonen av en stjerne i Magellan-skyen, supernovaen 1987A), og for det andre hadde den en viss retningsfølsomhet. Slik kunne de etter hvert bestemme at de fleste nøytrinoene kom fra sola. I dag finnes interessante "bilder" av sola, tatt med nøytrinoer i stedet for med lys.[1]

Kamiokande-eksperimentet kunne slik bekrefte at nøytrinoene virkelig kom fra sola. Men dette eksperimentet viste også et underskudd, dvs. de bekreftet "solnøytrinoproblemet". I 1996 kom Super-Kamiokande i drift, en mye større versjon av Kamiokande-detektoren. I tillegg observerte Koshiba og medarbeidere en annen anomali i sammenheng med nøytrinoer fra atmosfæren. Eksperimentet viser færre nøytrinoer av myontypen enn man naivt skulle vente.

Den mest sannsynlige forklaringen på solnøytrinoproblemet og en liknende anomali med atmosfæriske nøytrinoer, er at nøytrinoene har masse, og at de "oscillerer", dvs. undergår forandringer på vei fra sola til jorda eller atmosfæren.[2,3] En bedre forståelse av dette fenomenet er i dag meget høyt prioritert.

At nøytrinoer "skifter ham" på vei fra sola til oss, er nylig blitt bekreftet av det kanadiske Sudbury Neutrino Observatory (SNO). SNO bruker en tank med 1000 tonn tungtvann omgitt av 30 meter vanlig vann. Oscillasjonen innebærer at nøytrinoene har en masse som, selv om den er svært liten, gjør at disse partiklene – fordi de finnes i slike enorme mengder – kan spille en viktig rolle for universets masse.[4]

Flere eksperimenter[5] er nå planlagt med henblikk på søk etter nøytrino-oscillasjoner. Den foreslåtte nøytrinostrålen fra CERN ved Genève til Gran Sasso-laboratoriet i Italia, 730 km unna, skal bli ferdig i 2005. Et liknende prosjekt finnes i USA: Nøytrinoer produsert ved Fermilab (Chicago) skal sendes 730 km til undergrunnslaboratoriet Soudan i Minnesota. I Japan gjennomføres for tiden to eksperimenter: K2K (Nøytrinoer fra KEK-laboratoriet til Super-Kamiokande) og Kam-

Land (fra et stort antall japanske kjernreaktorer til Kamioka).

Davis og Koshiba la grunnen for utviklingen av en nøytrino-astronomi som åpner et vindu mot de interne mekanismene i stjernene.

Røntgenstråler fra rommet

Det er takket være Riccardo Giacconi at astronomene i 1960-årene fikk tatt bilder av himmelen i røntgenstråleområdet med instrumenter montert i raketter for å unngå forstyrrelser som skyldes atmosfæren. Tidligere hadde man registrert røntgenstråler fra sola med Geigertellere ombord i V-2-raketter som var tatt som krigsbytte.

Riccardo Giacconi, som er født i Genova, begynte rundt 1960 i halvmilitær romforskning i miljøet ved MIT, hvor Bruno Rossi hadde stor innflytelse.

Røntgenstråler fra rommet taper energi ved å gå gjennom atmosfæren og trenger derfor i meget liten grad ned til jordoverflaten. (Atmosfæren er mer gjennomtrengelig for lys enn for røntgenstråler!) For å detektere dem er det derfor nødvendig å få instrumentene høyt opp. For eksempel må instrumentene opp til ca. 80 km for å registrere de mest vanlige røntgenstrålene, med energier rundt 3 keV. Et ekstra problem er hvordan man filtrerer bort annen kosmisk stråling og fokuserer røntgenstråler, for å danne et bilde.

Giacconis gruppe utviklet teleskoper som fra raketter og satellitter kunne registrere røntgenstråling fra rommet. Hans idé var å benytte det faktum at røntgenstråler totalreflekteres når de treffer en overflate ved en tilstrekkelig liten vinkel. De hadde håp om å registrere signaler som kom fra kilder utenfor solsystemet, men den offisielle planen var å lete etter røntgenstråler fra overflatefenomener på månen.[6] I 1962 oppdaget de Scorpius X-1, den første kjente kilde for røntgenstråler utenfor solsystemet. Den sender ut tusener ganger mer energi som røntgenstråler enn som synlig lys.

For å kunne si hvor slike røntgenstråler kommer fra, er en viss retningsbestemmelse nødvendig. Giacconis gruppe var tidlig i stand til å identifisere røntgenstråler fra Krabbetåken, som er restene etter supernovaen kinesiske og japanske astronomer observerte (og beskrev!) i 1054. Den sender ut 10^{10} ganger så mye energi i røntgenstråler som det sola gjør. Senere har man også registrert en røntgenkilde fra Krabbetåken som pulserer i takt med lys-pulsaren.

På 1960-tallet, mens de fortsatt arbeidet med rakett- og ballongbaserte observasjoner, lokaliserte de Cygnus X-2, samt den første kilde i en galakse utenfor Melkeveien (M67 i Virgohopen). De oppdaget også tidlig en diffus bakgrunnsstråling. Siden den var isotrop, kunne de konkludere med at den måtte være av ekstragalaktisk opphav.

Giacconi satte senere i verk et prosjekt for systematisk å kartlegge røntgenkilder fra verdensrommet. Det første store observatoriet av dette slaget ble sendt opp i 1970, på Kenyas frigjøringsdag, og kalt UHURU, som på swahili betyr "frihet". For denne satellitten kunne de fra bakken kontrollere omdreiningsaksen, samt omdreiningshastigheten. De oppdaget flere kilder som måtte tolkes som binære systemer, en nøytronstjerne i bane rundt en supermassiv stjerne. Materie faller inn på nøytronstjernen og energetisk bremsestråling (fotoner) registreres som røntgenstråler.

Senere har satellittbaserte observatorier som HEAO-2 (High Energy Astronomy Observatory) bidratt til å kartlegge et stort antall slike røntgenkilder fra verdensrommet. Mange av disse viste seg å være binære systemer hvorav en stjerne er meget kompakt (nøytronstjerne eller sort hull), som Centaurus X-1 og Cygnus X-1.[7]

De oppdaget også hyppige røntgenutbrudd fra NGC6624 (en kulehop som består av rundt 100 000 stjerner), noe som tydet på termonukleære reaksjoner på overflaten til en nøytronstjerne.

Senere har Giacconis gruppe, ved hjelp av HEAO-2- (også kalt Einstein-)røntgenobservatoriet, vært i stand til å registrere ekstremt svake kilder, helt ned til en million ganger svakere enn Scorpius X-1. Tusenvis av røntgenkilder er nå kjent, mange av disse har gitt innsikt i dynamikken til nøytronstjerner, og mulige sorte hull er blitt nøye undersøkt.

Giacconi utførte mye av sin forskning mens han var tilknyttet American Science & Engineering, Cambridge, Massachusetts. Han er nå president for Associated Universities Inc., Washington, en organisasjon som står for driften av større laboratorier. Han har fått en asteroide oppkalt etter seg: #3371 Giacconi.

Referanser

1. Nøytrinobilder av sola: http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap980605.html
2. P. Osland og G. Vigdel: *Har nøytrinoene likevel masser?* Fra Fysikkens Verden **4/98**, 99 (1998)

3. Se også Superkamiokandes nettsider:
http://www.hp.phys.titech.ac.jp/kamioka/
http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/
4. Ø. Elgarøy: *Universet som nøytrinovekt*, Fra Fysikkens Verden **2/02**, 48 (2002)
5. L. Bugge og F. Ould-Saada: *Tau-nøytrinoet*, Fra Fysikkens Verden 1/01, 5 (2001)
6. B. Rossi: *X-Ray Astronomy*, Dædalus, Journal of the American Academy of Arts and Sciences **104, No. 4**, 37 (1977)
7. Røntgenstråler fra verdensrommet:
W. H. Tucker: *The X-Ray Universe*,
http://www.slac.stanford.edu/pubs/beamline/25/2/25-2-tucker.pd f

∞

40 år med forskningsraketter fra Andøya

Eivind V. Thrane *

Den 18. august 1962 ble forskningsraketten Ferdinand I skutt opp fra det nyetablerte skytefeltet i Oksebåsen ved Andenes, og i august i år ble begivenheten feiret ved dagens Andøya Rakettskytefelt (ARS). Det har i sannhet vært begivenhetsrike år. Til sammen er det skutt ca. 800 raketter og sluppet 450 stratosfæreballonger for å studere nordlysionosfæren og den midlere atmosfære ved høye bredder. Skytefeltet har hatt en jevn utvikling og har nå helt moderne fasiliteter og en stab på 43. ARS er det nordligste permanente skytefelt for forskningsraketter i verden og har en vid kundekrets fra det internasjonale vitenskapelige miljø. I denne artikkelen legges hovedvekten på rakettprogrammene fra ARS.

Norsk start på romalderen

Arbeidet med å etablere et skytefelt i Nord-Norge begynte i 1960, bare tre år etter Sputnik. Norge fikk dermed bokstavelig talt en "flying start" på romalderen, og forskere og ingeniører fikk tidlig lære å utvikle og beherske den teknologi som er nødvendig for å sette vitenskapelige instrumenter på en romplattform. Slik kunnskap gjorde det også mulig for norske forskere på et tidlig stadium å delta i utvikling av satellittinstrumenter sammen med amerikanske og europeiske grupper. Fra norsk side var det Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) som sammen med Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd (NTNF) tok initiativet til å opprette skytefeltet. Nøkkelpersoner i dette arbeidet var Finn Lied, Svein Rosseland, Leiv Harang, Robert Major, Odd Dahl, Karl Holberg og Bjørn Landmark.[1,2]

I den første spede begynnelse var man avhengig av teknologisk og finansiell støtte fra USA. USAs sentraladministrasjon for sivil romvirksomhet, NASA (National Aeronautics and Space Administration), lånte bl.a. ut telemetriutstyr til de første oppskytningene. Etter hvert fikk ARS sitt eget utstyr, men det nære samarbeid med NASA og NASAs forskere har vart frem til i dag.

Norge sto i mange år utenfor den europeiske romorganisasjonen ESRO (European Space Research Organization), men norske forskere var likevel meget aktive deltakere i europeiske rakett- og satelittprosjekter. Først i 1987 fikk Norge formelt medlemskap i European Space Agency (ESA) og Norsk Romsenter ble opprettet som en stiftelse under Nærings- og handelsdepartementet. Andøya Rakettskytefelt er i dag et aksjeselskap som eies av Norsk Romsenter (90 %) og Kongsberg Satellite Services (10 %). Skytefeltet er knyttet til ESA gjennom EASP (Esrange Andøya Special Project), en internasjonal avtale mellom ESA-land. Denne avtalen sikrer medlemslandene adgang til tjenestene ved ARS og Esrange (et liknende svensk rakettskytefelt ved Kiruna), og sikrer skytefeltene en basisbevilgning for sin virksomhet.

*Fysisk institutt, UiO, og Andøya Rakettskytefelt.

Figur 1. PULSAUR II, en av de største nyttelastene som er skutt opp fra ARS for nordlysstudier, var initiert av forskere ved universitetene i Bergen og Oslo. Den inneholdt 12 ulike eksperimenter fra 8 institusjoner i Norge, England og USA. Instrumentseksjonen var 5,08 m lang og veide 364 kg. Den ble skutt opp med en kraftig 2-trinnsrakett gjennom pulserende nordlys i 1994, og nådde en høyde på 291,5 km.

Valget av Andøya for et rakettskytefelt var godt begrunnet, både vitenskapelig og praktisk. ARS ligger midt i sonen der nordlyset opptrer hyppigst om natten. På 69° N er det det nordligste permanente skytefelt for forskningsraketter i verden. Andøya ligger på grensen til Arktis, av og til innenfor, av og til utenfor polarvirvelen i vinterstratosfæren. I Norskehavet nord for skytefeltet i Oksebåsen er det et enormt nedslagsfelt for rakettene, noe som gir stor fleksibilitet i valg av rakettbaner. Det er også svært viktig at Andenes har gode kommunikasjoner og et mildt klima, selv midtvinters.

Pionertid

Forut for Ferdinand I-oppskytningen hadde Norge allerede en solid tradisjon i studier av ionosfæren og nordlyset. Bruken av forskningsraketter representerte imidlertid et gjennombrudd i dette forskningsfeltet. For første gang kunne man måle elektrontetthet, energetisk partikkelnedbør og selve nordlyset "på stedet" og få ny og nøyaktig kunnskap om mediets struktur og de fysikalske prosessene i ionosfæren. Riktignok varer datainnsamlingen i en rakettflukt bare fra 6 til 15 minutter, men i løpet av denne korte tiden kan et detaljert "snapshot" sendes ned til bakken.

De første årene var en pionertid da hver rakettoppskytning ga nye og ofte uventede resultater. Rakettene med Ferdinand-nummer blir alle bygget i Norge. I dag er vi kommet til Ferdinand 122.

Odd Dahl og Asbjørn Søreide ved Christian Michelsens Institutt i Bergen, sto i mange år for den mekaniske konstruksjon av instrumentlastene, mens FFI hadde ansvaret for tekniske funksjoner som telemetri og kraftforsyning, samt for den endelige integrasjon av nyttelastene. Bjørn Landmark var den norske pionertidens ubestridte vitenskapelige leder, mens Jan Trøim ledet utviklingen av de elektroniske systemer. De "norske" rakettene var instrumenterte av FFI og universitetene i Oslo og Bergen. De var imidlertid sjelden helt norske, men representerte et samarbeid med f.eks. danske, amerikanske, tyske, østerrikske og britiske grupper. Mange grupper kom også til ARS med sine egne instrumenterte raketter.

Etter hvert som kunnskapen øket og teknologien ble forbedret, ble også rakettinstrumentene mer kompliserte og sofistikerte. Det ble målt detaljerte energispektra av nordlyspartikler, irregulariteter og instabiliteter i plasmaet, elektriske felt, ionesammensetning osv. Spesielt i plasmastudier er det nødvendig å måle mange parametere samtidig for å få et bilde av prosessene. Det ble etter hvert utviklet store, kompliserte og kostbare nyttelaster som var dedikerte til nøye definerte problemer i nordlysfysikk og plasmafysikk. Disse studerte i hovedsak ionosfæren i høydeområdet 60–500 km. Gode resultater ble oppnådd, men det var ofte vanskelig både å definere og finne de riktige skytebetingelsene.

De mest komplekse nyttelastene var *"mor–datter"-eksperimenter* der nyttelasten ble splittet i to uavhengige deler under flukten. Mor og datter vil da langsomt fjerne seg fra hverandre og man

kan måle romlige forskjeller i mediet. Mor–datter-konfigurasjoner var også viktige i *"aktive" eksperimenter* der en "elektronkanon" i den ene delen eksiterte plasmaet, mens forandringene ble observert av instrumenter i den andre. MAIMIK prosjektet var et eksempel på slikt eksperiment der ny kunnskap ble oppnådd både om selve ionisasjonsprosessene i mediet og om hvordan et romfartøy blir oppladet i plasmaet. Eksperimentene ble testet i laboratorieforsøk ved FFI der en plasmatank ga muligheter for å simulere prosessene i ionosfæren, f.eks. "kjølvannseffektene" i plasmaet bak en romferge. De aktive raketteksperimentene og simuleringene av oppladningseffekter var da også bakgrunnen for at norske forskere med Bernt Mæhlum i spissen, fikk være med i Spacelab 1, den første europeiske nyttelast på en romferge. Det er viktig å ha kontroll med det elektriske potensialet av et romfartøy, bl.a. for å sikre at astronauter som arbeider utenfor romfartøyet ikke blir utsatt for elektriske sjokk.

Forskningsfeltet utvides

Kanskje kan man si at pionertiden sluttet med en økende forståelse av at enkeltstående, *ad hoc* rakettskudd gir et begrenset bilde av virkeligheten. Nordlysfysikk, plasmafysikk og atmosfærefysikk er for komplisert til at en litt tilfeldig serie øyeblikksbilder fra rakettskudd kan gi den nødvendige innsikt. Skulle man komme videre, var det nødvendig å finne effektive kombinasjoner av raketteksperimenter og observasjoner fra bakken og fra satellitter. Dette kunne gi både bedre diagnoser av skytebetingelsene og en overvåking av tidsutviklingen i ionosfæren. De tilgjengelige tradisjonelle målingene fra bakken ble gjort av nordlysfotometre og spektrometre, "all-sky" kameraer, magnetometre og riometre (Relative ionospheric Opacity meter). De siste måler den integrerte absorpsjon av radiobølger nær 30 MHz. I 1970-årene kom i tillegg nye kraftige radarinstallasjoner som EISCAT (European Incoherent Scatter Facility) og PRE (Partielle Refleksjoners Eksperiment), som kunne overvåke tilstanden i ionosfæren. Nordlysforskerne fikk nye muligheter.

Samtidig ble interessen vendt mot vekselvirkningen mellom plasmaet og den ikke-ioniserte del av luften. I de tidlige år ble den nøytrale atmosfære betraktet som en statisk bakgrunn for ionisasjonsprosessene ved elektromagnetisk og partikkelstråling fra solen og verdensrommet. Det ble imidlertid stadig klarere at dynamiske prosesser i den ikke-ioniserte luften, vind, bølger over et vidt frekvensspektrum og turbulens, fører til komplekse variasjoner i tid og rom. Værsystemer, planetare bølger og lebølger i den lavere atmosfære er energikilder som sterkt påvirker den øvre atmosfære. Videre kan transport av kjemisk aktive gasser, både fra naturlige og antropogene kilder, bidra til å forandre tilstanden av den øvre atmosfæren og ionosfæren.

De store kampanjers tid

Studier av kompliserte prosesser krever ofte kompliserte verktøy. 1980-årene ble de store kampanjers tid ved Andøya Rakettskytefelt. Disse kampanjene var viet spesielle, veldefinerte problemer innen atmosfære- og ionosfærefysikk, og ble nøye planlagt i et vidt internasjonalt samarbeid der norske forskere hadde sentrale roller. Noen av kampanjene var deler av større globale observasjonsprogram koordinert av internasjonale organisasjoner, som Middle Atmosphere Program (MAP) og Middle Atmosphere Cooperation (MAC). I hver kampanje ble en serie raketteksperimenter, gjerne fra flere skytefelt samtidig, kombinert med bakkemålinger i en intens observasjonsperiode som kunne vare flere måneder. Det har vært fem slike store kampanjer: Energy Budget, 1980–81, MAP/WINE 1983–94, MAC/SINE 1987, MAC/Epsilon 1987 og DYANA 1990. Navnene og akronymene sier noe om hensiktene: Energy Budget (energiutveksling), WINE (Winter in Northern Europe), SINE (Summer in Northern Europe), Epsilon henspiller på en parameter for turbulent dissipasjon, DYANA (Dynamics Adapted Network of the Atmosphere). Mer enn 100 forskere fra 50 institusjoner kunne delta i en slik kampanje. Det ble stilt store krav til ARS, både når det gjaldt personell og utstyr. Som eksempel kan nevnes at det i MAC/Epsilon-kampanjen ble gjennomført en "salve" der fem store instrumenterte raketter ble skutt opp i løpet av 80 sekunder. Man trengte da fem oppskytningsramper og måtte ta vare på telemetrisignaler fra fem uavhengige instrumentlaster samtidig. Antall forskere og ingeniører som deltok var så stort at skytefeltet måtte leie kommunestyresalen på Andenes til noen av planleggingsmøtene. DYANA-kampanjen var spesiell fordi den hadde en global utstrekning med rakettoppskytninger fra baser i en rekke land, Norge, Sverige, Russland, Frankrike, Spania, USA, Japan, Kina og India med flere. Kampanjelederen, Dirk Offermann fra Tyskland, valgte imidlertid ARS som sitt hoved-

kvarter gjennom de månedene kampanjen varte. Resultatene fra disse store forskningsprosjektene ble analysert i et nøye koordinert fellesskap og publisert i spesialnumre av anerkjente internasjonale tidsskrift.

En ny epoke

Det er ingen tvil om at slutten av den kalde krigen også markerte et skille i ARS' historie. Polarområdene var ikke lenger så strategisk viktige, forskningsmidlene ble redusert, spesielt på amerikansk side, og det ble færre store kostbare rakettprosjekter. I tillegg ble satellittbårne instrumenter stadig mer kosteffektive, spesielt for globale studier av ionosfæren og magnetosfæren. På tross av dette, er det viktige nisjer i rom- og atmosfæreforskningen der forskningsraketter har spesielle fortrinn. I høydeområdet mellom 50 og 200 km er raketter den eneste "plattform" som kan bringe instrumenter inn i mediet. Videre kan man fra raketter måle vertikalprofiler av fysikalske parametere, og på grunn av en relativt lav hastighet, spesielt nær toppen av banen, kan rakettinstrumenter gi vesentlig bedre oppløsning i rom og tid enn satellitter.

I 1990-årene ble de fleste rakettprosjektene konsentrert om studier av den midlere atmosfære (10–100 km) og lavere ionosfære (50–120 km), der relativt rimelige motorkonfigurasjoner kan bringe nyttelaster opp til ca. 130 km. For ytterligere å senke kostnadene, utviklet ARS i samarbeid med den tyske MORABA (Mobile Raketenbase), FFI og Prototech i Bergen, et system for berging av nyttelaster fra havet. Nyttelasten inneholder en fallskjerm og en flytebag med radiosender og lysmarkering. Nyttelasten, med unntak av de instrumenter som må eksponeres under flukten, er forseglet og kan tåle sjøvann. Fallskjermen utløses på nedtur i ca. 3 km høyde og flytebagen ved nedslag. Ved forventet nedslagspunkt venter en båt for å ta nyttelasten tilbake til skytefeltet der den kan gjøres klar til ny oppskyting. Rekorden er ny oppskytning av samme nyttelast etter 24 timer, og enkelte nyttelaster har vært skutt opptil seks ganger. Berging fra sjøen er nå rutine ved ARS, og gir betydelige besparelser for forskerne.

Moderne teknologi gjør det mulig å miniatyrisere både elektroniske kretser og vitenskapelige instrumenter. Ove Havnes ved Universitetet i Tromsø, tok sammen med FFI et initiativ til å utvikle *små nyttelaster* som kunne skytes opp med små, billige "meteorologiske" raketter. Teknologisk sett var dette et utfordrende prosjekt fordi nyttelastene må tåle en akselerasjon på 150 G og meget høye temperaturer. Nyttelastene veier bare ca. 8 kg, har en diameter på 5 cm, og kan bygges svært rimelig (se figur 2). En rekke slike systemer er skutt opp til ca. 90 km høyde og har oppnådd gode vitenskapelige resultater. Ingen andre grupper har hittil klart dette. Dessverre er det i øyeblikket vanskelig å kjøpe rimelige rakettmotorer til disse systemene, men kan dette problemet løses, er potensialet stort for videre utvikling.

Figur 2. En mini-nyttelast utviklet ved Universitetet i Tromsø og Forsvarets forskningsinstitutt for å studere lysende nattskyer som forekommer i 80–90 km høyde. Dennne instrumentseksjonen er 5 cm i diameter og veier ca. 8 kg.

I arbeidet med å gi forskerne de best mulige arbeidsvilkår og en kosteffektiv adgang til romplattformer, har ARS nylig lansert et nytt konsept, en *"hotellnyttelast"*. Dette er en enkel, liten og standardisert nyttelast der forskerne kan "leie et rom med utsikt" til sine instrumenter. Nyttelasten med innebygget telemetri, kraftforsyning og andre viktige funksjoner tilbys til en fast pris som også inkluderer rakettmotor, oppskytning og 10 dagers operasjon ved skytefeltet. Nyttelasten kan nå 120 km med en ett-trinnsrakett og opptil 300 km apogeum med en to-trinns konfigurasjon. Berging vil kunne inkluderes.

Som nevnt tidligere, ble kombinasjon av rakettoppskytninger med bakkebaserte målinger stadig viktigere. I 1992 startet arbeidet med å finansiere og opprette ALOMAR (Arctic Lidar Observatory for Middle Atmosphere Research), og allerede i 1994 ble de første lidarmålingene utført fra det nye observatoriet.[3,4] Observatoriebygningen eies og drives av ARS, og med den avanserte instru-

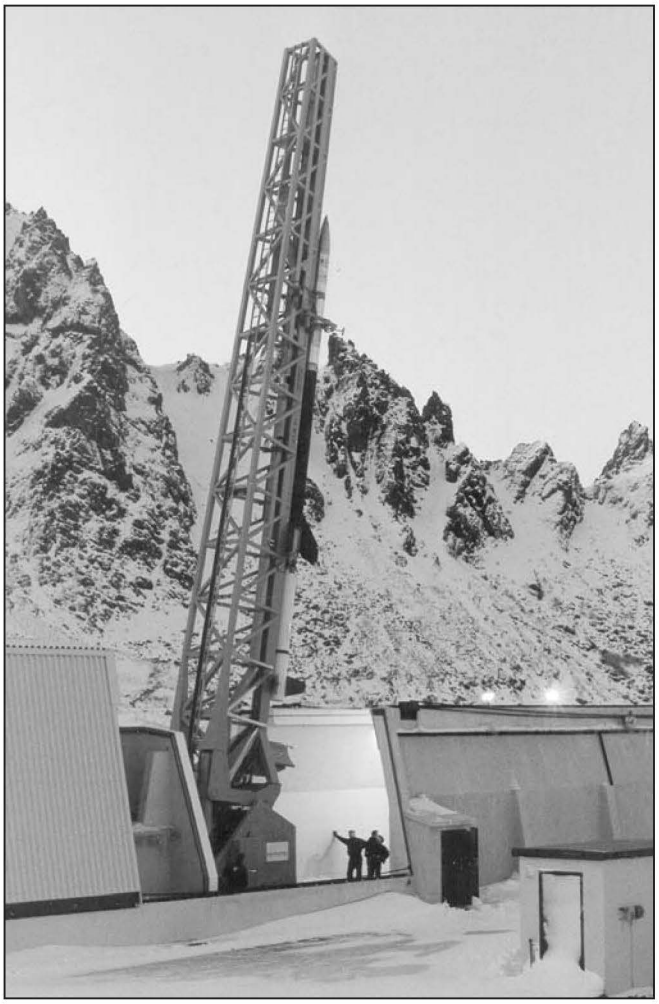
menteringen ved ALOMAR kan skytefeltet i samarbeid med instrumenteierne, tilby forskerne enestående observasjonsmuligheter. EISCAT-radarene er også viktige i den forskning som drives ved ARS.

ARS geografiske fortrinn ble ytterligere styrket da skytefeltet i 1997 etablerte *SvalRak* i Ny-Ålesund, et felt som ikke er permanent bemannet, men kan aktiveres etter behov. Kombinasjonen av de to skytefeltene gir helt enestående muligheter fordi Ny-Ålesund ligger midt i sonen der dagnordlyset er hyppigst og kan observeres midtvinters fordi det er mørkt nok selv midt på dagen. SvalRak ligger også midt under polarkløften i magnetosfæren der jordens atmosfære er direkte utsatt for solvinden. Også Svalbard har et relativt mildt klima og gode kommunikasjoner som gjør SvalRak enkelt å benytte med rimelige omkostninger. Hittil er det skutt fem forskningsraketter fra Ny-Ålesund. Dette skytefeltet er verdens nordligste på nesten 80° N og er det eneste der man kan skyte forskningsraketter opp i polarkløften eller inn over polkalotten. Igjen er det viktig å peke på verdien av å kunne kombinere rakettmålinger med andre observasjoner. EISCAT har nå to store radarantenner ved Longyearbyen, den ene bygget av Japan, og det finnes avanserte optiske instrumenter for observasjon av nordlys.

ARS og SvalRak gir til sammen mange muligheter for valg av rakettbaner, med havområder fra norskekysten til nordpolen som nedslagsområde. ARS kan skyte rakettkonfigurasjoner på opptil 20 tonn. Store, firetrinnsraketter skutt fra ARS kan bringe instrumenter inn i polarkløften over Svalbard. To slike systemer er blitt skutt opp med apogeum på over 1400 km og nedslag 1600 km nord for Andenes (se figur 3). Den første av disse, SCIFER, var et NASA-prosjekt med norsk deltakelse. Oppskytningen i januar 1995 skapte internasjonal oppsikt fordi den aktiverte det russiske militære varslingssystem. Det sies at Jeltsin åpnet sin lille sorte koffert. Oppskytningen var behørig varslet fra norsk side, men meldingen nådde aldri helt frem.

Ikke bare forskningsraketter

ARS har også utvidet sin virksomhet i andre retninger. Her er undervisningssektoren spesielt viktig, og skytefeltet har nå en egen avdeling NAROM (Nasjonalt senter for romrelatert opplæring). NAROM støttes over en post i statsbudsjettet og arbeider som en feltstasjon for universiteter og høyskoler(se Hva skjer i dette bladet).



Figur 3. Scifer-raketten hadde fire trinn og nådde en høyde på 1450 km. Den gikk over Svalbard og falt ned i Polhavet.

NAROM har ingen eksamensrett, men har formelle avtaler med en rekke undervisningsinstitusjoner. Ved ARS tilbys undervisning i romteknologi og forskning der skytefeltets ekspertise og utstyr kan benyttes. Besøkende forskere og ingeniører kan også ta del i undervisningen. Studentene kan få muligheter til å bygge og være med på oppskytning av rakettnyttelaster, og det arrangeres internasjonale "Space Camps" med intensive kurs i korte perioder. Man arbeider også med et konsept der studentene kan være med på planlegging og instrumentering av små satellitter (se Hva skjer). ARS kan gi studentene et interessant og stimulerende arbeidsmiljø. En hotellfløy med enkle, men komfortable rom gjør det mulig for studentene både å bo og arbeide på skytefeltet.

ARS har også to andre datterselskaper, *Nordic Sea Test Range* og *Nordlyssentret.* Det første er et militært skytefelt som brukes av det norske forsvar og utenlandske kunder til uttestning av våpensystemer. Nordlyssentret ligger på selve An-

denes og består av utstillinger relatert til nordlys og skytefeltets virksomhet.

Andøya Rakettskytefelt er i dag en vital og moderne høyteknologibedrift som er viktig for norsk og internasjonal romforskning, og for lokalsamfunnet på Andenes. Nøkkelen til suksess er å yte kundene, dvs. forskerne, unike forskningsmuligheter og god servise, samt å sørge for en optimal utnyttelse av personalets ekspertise og erfaring. Det siste oppnås ved å utnytte "brannstasjonsprinsippet": Når det ikke brenner (dvs. når man ikke er opptatt med ås skyte raketter), utfører personalet andre oppgaver. Ved å spre sin virksomhet over flere områder, har ARS oppnådd stabilitet både når det gjelder finansiering og bemanning. Mye er forandret i de førti årene som har gått siden Ferdinand I, men innsatsviljen og troen på fremtiden er der fremdeles.[5]

Litteratur

1. John Peter Collett, ed.: *Making Sense of Space – The History of Norwegian Space Activities.* Universitetsforlaget AS, Oslo (1995)
2. Alv Egeland, Eivind Vilhelm Thrane, Finn Søraas, Asgeir Brekke, Bjørn Landmark, Arne-Hjalmar Hansen og Siri N. Magnussen, red.: *4, 3, 2, 1, fire! Historien om Andøya Rakettskytefelt.* Andøya Rakettskytefelt AS (2000)
3. Eivind V. Thrane: *ALOMAR – Romfysikk og miljøforskning.* Fra Fysikkens Verden **56**, Nr. 4, 103–107 (1994)
4. Eivind V. Thrane og Ulf-Peter Hoppe: *ALOMAR – Atmosfæreforskning ved Andøya Rakettskytefelt.* Fra Fysikkens Verden **65**, Nr. 1 (2003)
5. Internett: *www.rocketrange.no*

∞

Kvarkstjerner

Øyvind Grøn *

At kvarkstjerner kan eksistere, ble foreslått for over 30 år siden. I begynnelsen av 1990-årene gjorde norske fysikere med Erlend Østgaard i spissen, viktige undersøkelser av hvilke observerbare egenskaper slike stjerner kan ha som vil gjøre det mulig å skjelne mellom kvark- og nøytronstjerner. Ved hjelp av det satelittbårne Chandra-teleskopet har man nå gjort røntgenobservasjoner av to kompakte objekter som muligens kan være kvarkstjerner.

Nøytroner og protoner består av kvarker. Men prøver man å skyte i stykker et proton for å studere frie kvarker, blir man skuffet. Uansett hvor stor energi man bruker, dannes det ikke frie kvarker. Det oppstår isteden nye kjernepartikler og deres antipartikler. Kvarkene er bundet av en kraft som øker med avstanden. Når energien økes slik at man kan studere vekselvirkningen mellom kvarker som er svært nær hverandre, blir kraften svakere. Ved ekstremt høy energi beveger kvarkene seg nesten fritt, de er *asymptotisk frie.*

Dette innebærer at det kan eksistere en form for materie med svært stor tetthet der kjernepartiklene deler på hverandres kvarker, et kvark-gluonplasma. Kanskje kan det eksistere en slik type materie i de innerste områdene av nøytronstjerner. I så fall snakker man om hybride stjerner. Det kan også tenkes at det kan dannes hele stjerner av slikt materiale i prosessen som fører til supernovaeksplosjoner av massive stjerner. Disse vil i så fall ha enda større tetthet enn nøytronstjerner og kalles *kvarkstjerner.*

Kvarkstjerners egenskaper

Astronomy Picture of the Day for 14. april 2002 på Internett, er viet oppdagelsene av to mulige kandidater til kvarkstjerner. Her finnes en lenke til en artikkel om kvarkstjerner i Dr. Odenwald's *Ask the astronomer page.* I denne artikkelen er det kun én referanse, og det er til Erlend Østgaards

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

artikkel[1] der han summerer opp utforskningen av nøytronstjerner, hybride stjerner og kvarkstjerner som han har utført sammen med T. Øvergård og B. Arntsen ved NTNU. De undersøkte 3 modeller for kvarkmaterie: En modell der kvarkene utgjør en fermigass av ikke-vekselvirkende partikler, en MIT-bagmodell og en såkalt perturbativ QCD-modell.

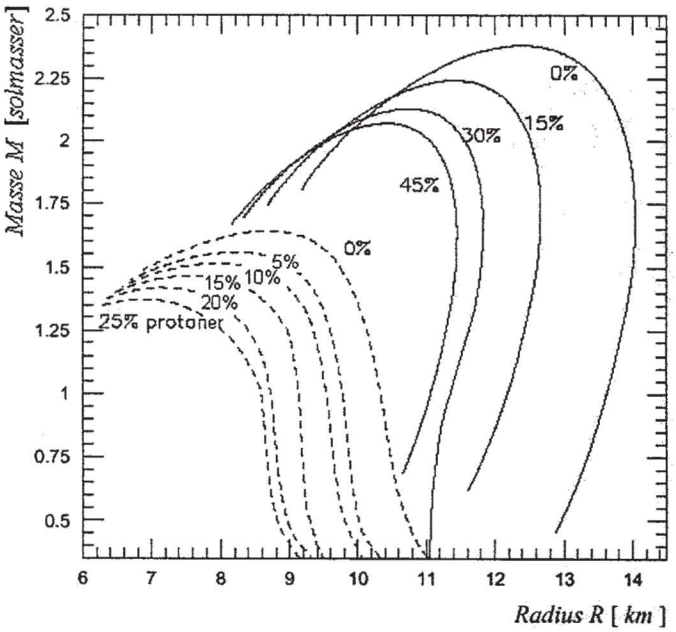
Disse materiemodellene er karakterisert ved ulike tilstandslikninger. Fra disse likningene sammen med den relativistiske likningen for hydrostatisk likevekt i en stjerne, Tolman-Oppenheimer-Volkov-likningen, beregnet de trykkfordelingen, massetettheten, den totale massen, radien og treghetsmomentet til kvarkstjerner. De fleste av størrelsene var forholdsvis like de tilsvarende størrelsene for nøytronstjerner, men noen forskjeller var det. Kvarkstjernene hadde større tetthet, mindre radius og mindre treghetsmoment enn nøytronstjernene. Følgelig vil de også rotere hurtigere. Hybride nøytronstjerner med en kjerne av kvarkmaterie, ble også undersøkt.

Ved å undersøke faseovergangen fra nøytronmaterie til kvarkmaterie, fant de ut at den mest realistiske materiemodellen for en mulig kvarkstjerne var MIT-bagmodellen. Maksimal masse og radius for en kvarkstjerne med denne type materie for en hybrid stjerne med kjerne av MIT-bag kvarkmaterie, og for en nøytronstjerne, er vist i tabellen nedenfor, der $M_\odot$ er en solmasse. Intervallene for hybride stjerner og nøytronstjerner skyldes at den maksimale massen og radien avhenger av nøytronmateriens tilstandslikning.

Stjernetype	*masse*	*radius*
kvarkstjerne	$\sim 2,0\ M_\odot$	$\sim 10,8$ km
hybridstjerne	$1,4 - 1,7\ M_\odot$	$10 - 13$ km
nøytronstjerne	$1,2 - 2,6\ M_\odot$	$10 - 13$ km

Tilsvarende undersøkelser av egenskapene til nøytronstjerner med materie beskrevet ved ulike tilstandslikninger og ulike andeler av protoner, er rapportert i en serie artikler som er resultat av samarbeid mellom L. Engvik, M. Hjorth-Jensen og E. Osnes ved Universitetet i Oslo, og G. Bao og E. Østgaard ved Universitetet i Trondheim.[2] Sammenhengen mellom maksimal masse og radius er vist i figur 1.

Kurvene viser at den relativistiske tilstandslikningen, som stemmer best med observerte egenskaper til atomkjerner, gir større masser og radier enn den ikke-relativistiske tilstandslikningen. Den siste likningen gir resultater som passer best med



Figur 1. Masse–radius relasjon for kompakte stjerner beregnet for ulike tilstandslikninger og andeler av protoner som er angitt med prosent i figuren. De heltrukne kurvene er resultat av beregninger med en relativistisk tilstandslikning og de stiplede kurvene med en ikke-relativistisk tilstandslikning.[2]

nøytronstjernenes observerte masser og anslag for deres radier basert på observasjoner.

Når det gjelder observerbare forskjeller mellom kvarkstjerner og nøytronstjerner, nevnes spesielt to forhold. Det ene er at kvarkstjerner roterer hurtigere enn nøytronstjerner. Man mener at den minste perioden en roterende nøytronstjerne kan ha uten at den rives i stykker, er 0,6 millisekund. Dersom man observerer en pulsar med mindre periode, ville den observerte stjernen være en kvarkstjernekandidat. Det andre forholdet er at kvarkstjerner produserer flere nøytrinoer enn nøytronstjerner og får dermed et større varmetap. Temperaturen til kvarkstjerner avtar følgelig raskere enn den til nøytronstjerner. Det ville derfor være interessant å måle temperaturen til kompakte stjerner dannet ved supernovaeksplosjoner som man kan tidfeste. Med kjennskap til begynnelsestemperaturen kan man finne hvor raskt stjernens temperatur har avtatt. Dette kan brukes for å fastslå om det er en vanlig nøytronstjerne en har observert, en hybrid stjerne eller en kvarkstjerne.

Strukturen til nøytronstjerner

Kompakte stjerner oppstår ved supernovaeksplosjoner. Den indre delen av stjernen kollapser, og det frigis gravitasjonsenergi i en voldsom eksplosjon.

Figur 2. Strukturen til en typisk nøytronstjerne eller en hybrid stjerne.

Det dannes da en stjerne med struktur som vist i figur 2, og med temperatur på omtrent 10^{11} K.

Energitapet til en nøytronstjerne er vanligvis dominert av nøytrinoutstråling når temperaturen i kjernen er større enn omtrent 10^8 K. Deretter dominerer termisk stråling av fotoner.

Til tross for nøytrinoenes fenomenale evne til å bevege seg uhindret gjennom store mengder materie, er tettheten av materie i det indre av en kompakt stjerne så stor at det oppstår en betydelig bremsestråling når nøytrinoene baner seg vei gjennom den kompakte materien. Strålingen brer seg fra stjernens kjerne til overflaten og åpenbarer seg som svartlegemestråling. Med en typisk overflatetemperatur på omtrent en million grader, vil den ha intensitetsmaksimum i røntgendelen av spekteret.

Nøytrinoproduksjon i kompakte stjerner

De to enkleste kjernereaksjoner som produserer nøytrinoer, er for det første at nøytroner spaltes til protoner, elektroner og antinøytrinoer, $n \to p + e + \bar{\nu}$, og for det andre protoninnfangning av elektroner som fører til dannelse av nøytroner og nøytrinoer, $p + e \to n + \nu$. Disse reaksjonene er nesten motsatte, og når de skjer med samme hastighet vil antall nøytroner, protoner og elektroner være uendret mens det produseres nøytrinoer. Reaksjonene kalles *den direkte Urca-prosessen.*

Disse kjernereaksjonene ble første gang betraktet av Gamow og Schoenberg i 1941 som en mekanisme i virksomhet ved supernovaeksplosjoner. Gamow har fortalt at de i denne sammenhengen kalte reaksjonene for Urca-prosessen, delvis for å minnes et Casino ved navn Urca i Rio de Janeiro der han og Schoenberg møttes, og delvis fordi Urca-prosessen forårsaker et raskt tap av energi fra det indre av en stjerne på tilsvarende måte som pengene raskt forsvant fra lommene til spillerne i Casino de Urca. Artikkelen ble publisert i Physical Review.[3] I tilfelle redaksjonen skulle spørre om navnets betydning, hadde forfatterne laget følgende svar: URCA står for *UnRecordable Cooling Agent.* Men spørsmålet kom ikke. Urca er forøvrig det russiske ordet for lommetyv.

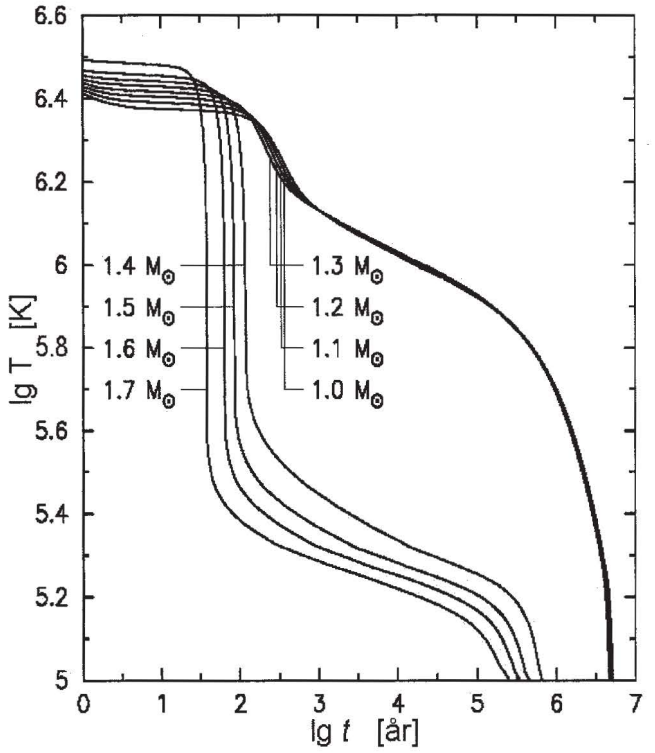
Dersom stjernens kjerne består av "vanlig" materie (nøytroner, protoner og elektroner) og temperaturen er under 10^9 K, vil kjernen inneholde mange flere nøytroner enn protoner og elektroner. Man kan vise at dersom antall protoner i kjernematerien er mindre enn 1/8 av antall nøytroner, vil Urca-prosessen føre til brudd på impulsbevaring og vil da ikke kunne skje. Men ved høyere temperatur enn 10^9 K, vil det eksistere materie med større andel protoner slik at den direkte Urca-prosessen kan være virksom.

En modifisert Urca-prosess der hver kjernereaksjon involverer et ekstra nøytron som sørger for impulsbevaring, kan skje også ved temperaturer under 10^9 K. Reaksjonene i *den modifiserte Urca-prosessen* er $n + n \to n + p + e + \bar{\nu}$ og $n + p + e \to n + n + \nu$. Produksjonshastigheten av nøytrinoer er mindre i den modifiserte Urca-prosessen enn i den direkte Urca-prosessen med en faktor $(T/T_F)^2$, der T er materiens temperatur og T_F dens fermitemperatur. Siden fermienergien er av størrelsesorden 100 MeV, som svarer til temperaturen 10^{12} K, er den direkte Urca-prosessen 10^6 ganger så effektiv som den modifiserte Urca-prosessen ved temperaturen 10^9 K.

Avkjøling av kompakte stjerner

I en kompakt stjerne der den direkte Urca-prosessen er virksom, vil kjernens temperatur synke til 10^8 K på en uke, men hvis kun den modifiserte Urca-prosessen er aktiv, tar det 10^6 år før temperaturen er sunket til 10^8 K. Stjernens kjerne er en meget god varmeleder. Derfor blir temperaturen raskt den samme i hele kjernen. Men temperaturen avtar utover i skallet. Typisk begynnelsesverdi for stjernens overflatetemperatur er $2,5 \cdot 10^6$ K.

I de første 10–100 årene avkjøles stjernens overflate adskillig langsommere enn i de neste ti tusen årene. Det skyldes at nesten all nøytrinoproduksjon skjer dypt inne i stjernen. Og selv om disse indre områdene kvitter seg med enorme mengder energi ved å stråle ut nøytrinoer, så merkes ikke dette i de ytre områdene av stjernen før det er gått noen ti-år. I de ytterste lagene skjer det en moderat nøytrinoutstråling og termisk fotonstråling fra overflaten. Dette er langsomme prosesser i forhold til



Figur 3. Avkjølingskurver for kompakte stjerner. Kurvene er beregnet for tilstandslikninger slik at for stjerner med mindre masse enn 1,37 solmasser virker kun den modifiserte Urca-prosessen, og for stjerner med større masse virker den direkte Urca-prosessen. (Beregningene er utført av D. Page og J.H. Applegate.[4])

varmetapet på grunn av nøytrinostråling innerst i stjernen. Avkjølingskurvene i figur 3 er derfor alle flate de første hundre årene, og begynnelsestemperaturen er omtrent lik for ulike typer kompakte stjerner dersom de har samme masse og radius.

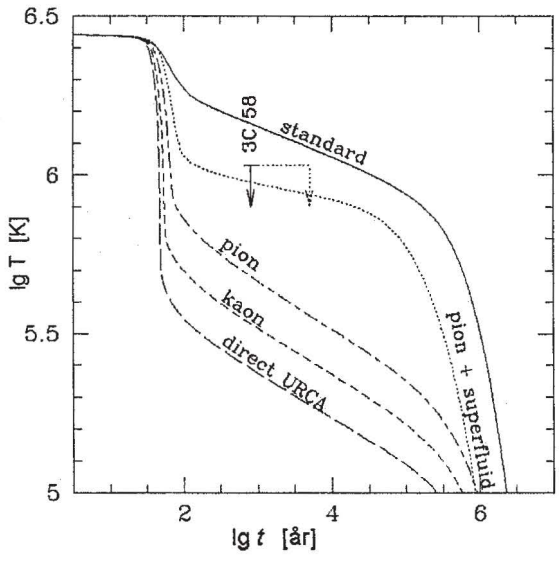
Når "avkjølingsbølgen" på grunn av nøytrinoutstråling fra kjernen ankommer stjernens overflate noen ti-år etter supernovaeksplosjonen, vil overflatetemperaturen avta mye raskere, som vist i figur 3. Hvor hurtig temperaturen da avtar, avhenger av hurtigheten til nøytrinoproduksjonen i kjernen. I de minst massive stjernene skjer kun den langsomme modifiserte Urca-prosessen og i de mer massive den hurtige direkte Urca-prosessen. Massen som markerer grensen, avhenger av egenskapene til materien som stjernen består av, karakterisert ved materiens tilstandslikning. Kurvene i figur 3 er beregnet for en tilstandslikning som leder til en grensemasse på 1,37 solmasser. Figuren viser at mer massive stjerner avkjøles meget raskt på grunn av den direkte Urca-prosessen.

Avkjøling av eksotiske stjerner

Beregninger av egenskapene til kompakte stjerner tyder på at den maksimale massen til ikke-roterende kompakte stjerner er omtrent 1,8 solmasser. Roterer kompakte stjerner, kan de ha opp mot 3 solmasser.

De mer massive kompakte stjernene kan ha kjerner som består av såkalt eksotisk materie, dvs. materie som ikke består bare av nukleoner og elektroner. De to mest aktuelle materievariantene er pion-kondensat og kvark-materie. Kaon-kondensat er også en mulighet, men lite sannsynlig ifølge Tsuruta og medarbeidere.[5] I alle disse typene materie skjer den direkte Urca-prosessen. Rask avkjøling av en kompakt stjerne kan derfor være et tegn på at det eksisterer eksotisk materie i dens indre. Men det behøver ikke være tilfelle.

Når ikke-eksotisk materie blir superflytende ved at det dannes Cooper-par av nukleonene, oppstår en stor nøytrinoproduksjon som fører til rask avkjøling av stjernen. På den annen side vil den direkte Urca-prosessen bli undertrykt i slik materie. D.G. Yakovlev og medarbeidere har gjort detaljerte beregninger som viser at overgang til en superflytende væske både kan øke nøytrinoproduksjonen og hindre den, avhengig av materiens sammensetning, tetthet og temperatur. Eksistensen av en superflytende fase gjør forskjellen mellom avkjøling i ordinære nøytronstjerner og eksotiske stjerner mindre tydelig. Avkjølingskurver for nøytronstjerner og eksotiske stjerner er vist i figur 4.



Figur 4. Avkjølingskurver for kompakte stjerner. Pions og kaons står for henholdsvis pi-mesoner og k-mesoner. Pilene som peker nedover viser den øvre grensen for temperaturen til stjernen 3C58 ut fra observasjonene.

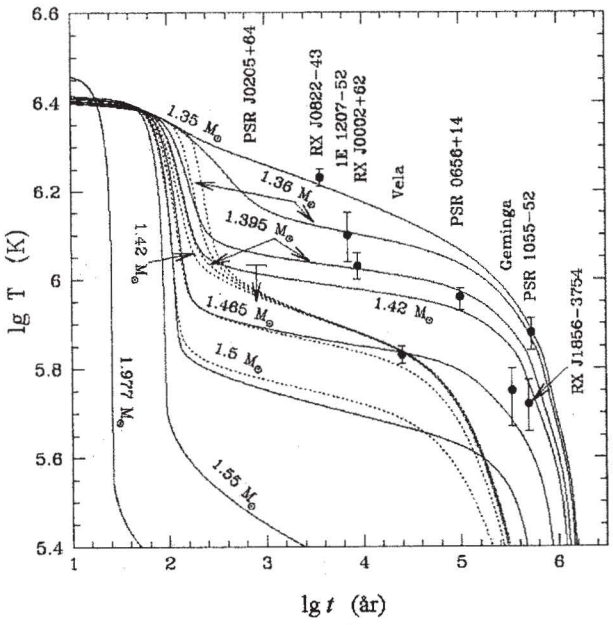
Observasjon av en kompakt stjerne med hurtig avkjøling

En supernovarest med betegnelsen 3C58, har samme posisjon som en supernova observert i Kina og Japan i 1181. Ved hjelp av røntgenteleskopet Chandra, ble det nylig oppdaget en pulsar, PSR J0205+64 med periode på 65 millisekunder, i sentrum av denne supernovaresten. P. Slane, D.J. Helfand og S.H. Murray har nylig utført målinger som har gjort det mulig å bestemme overflatetemperaturen til pulsaren. De lastet ned en vitenskapelig rapport i preprintarkivet i Los Alamos 9. april i år,[6] og det ble arrangert en pressekonferanse 10. april der resultatet ble offentliggjort.[7] Resultatet av målingene var at dersom stjernen har en radius på 12 km, er temperaturen ikke høyere enn $1,08 \cdot 10^6$ K. Dermed hadde de bestemt den øvre grensen av overflatetemperaturen til en kompakt stjerne med kjent alder.

Temperaturen til denne 820 år gamle stjernen ble sammenliknet med resultatet av modellberegninger av stjernens overflatetemperatur som funksjon av tiden. Pilen i figur 4 viser den observerte øvre grensen for overflatetemperaturen til stjernen. Den er lavere enn standardteorien basert på at stjernen består av nøytronmaterie der nøytrinoproduksjonen kun skyldes den modifiserte Urca-prosessen, skulle tilsi. Ifølge astronomene, tyder observasjonene på at en hurtig avkjølingsmekanisme fungerer i stjernens kjerne.

D.G. Yakovlev og medarbeidere har i flere år undersøkt teorien for avkjøling av kompakte stjerner. Inntil for få år siden hadde man ikke tatt med virkningen av en superledende fase av materien i beregningene av avkjølingskurvene. Yakovlev og hans gruppe har derfor lagt ned et stort arbeid i denne type undersøkelser. De har beregnet over 2000 avkjølingskurver for stjerner med forskjellige egenskaper. Typiske kurver for stjerner med ulike masser og superflytende materie, er vist i figur 5.[8]

Ni kompakte stjerner med kjent temperatur og alder, er plottet inn på figur 5. Resultatet er at de observerte egenskapene til PSR J0205+64 kan forklares dersom materien er superflytende uten at man behøver å trekke inn den direkte Urca-prosessen eller eksotisk materie. Yakovlev og medarbeidere konkluderer imidlertid med at egenskapene til den samlete gruppen av pulsarer, og Vela i særdeleshet, tyder på at den direkte Urca-prosessen er virksom. Dette er et argument for at det eksisterer kompakte stjerner med eksotisk materie.



Figur 5. Figuren viser avkjølingskurver for stjerner med forskjellige masser. Kurvene er beregnet for superflytende materie med en tilstandslikning slik at den direkte Urca-prosessen er virksom for stjerner med masse større enn 1,358 solmasser. Heltrukne kurver er for materie med proton-supervæske og prikkede kurver med nøytron-supervæske. Ni isolerte kompakte stjerner med kjent overflatetemperatur og alder er også plottet inn i diagrammet.

Er RX J1856.5−3754 en kvarkstjerne?

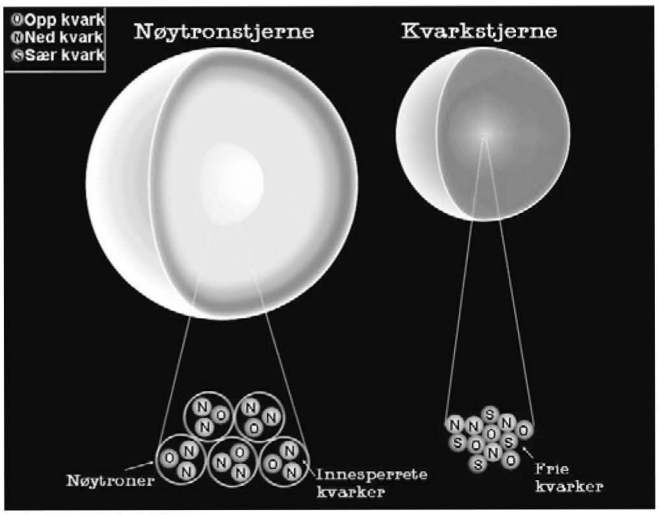
Slik er overskriften (oversatt til norsk) på en rapport som J.J. Drake og medarbeidere lastet inn i preprintarkivet 9. april.[9] Gruppene til Slane og Drake arbeidet uavhengig av hverandre, men valgte å presentere resultatene sine på en felles pressekonferanse.

RX J1856.5-3754 er en kompakt stjerne med overflatetemperatur på omtrent 700 000 K. Stjernen er omtrent en million år gammel. Avstanden fra jorda er mellom 350 og 550 lysår.

En analyse av røntgenspekteret fra stjernen observert med Chandra-teleskopet, har gitt som resultat at den har en radius mellom 9,4 og 13,4 km og en masse mellom 1,3 og 2,1 solmasser. Dette betyr at stjernens radius kan være mindre enn radien til en ordinær nøytronstjerne. Med en standard tilstandslikning har en nøytronstjerne med 1,4 solmasser en radius på 12 km.

Fem mulige måter å forklare disse observasjonene på diskuteres. (1) Man kan ha observert et lokalt varmt område på overflaten av en kaldere

stjerne. Dette ville imidlertid føre til en observerbar periodisk intensitetsendring som ikke er blitt observert. (2) Stjernen kan ha et enormt sterkt magnetfelt som påvirker den observerte strålingen. Dette ville imidlertid også føre til pulser i strålingen. Man har ikke observert noen tegn til det. (3) Stjernen kan absorbere interstellar materie som varmes opp og sender ut røntgenstråling. Området stjernen befinner seg i har imidlertid svært liten tetthet av støv, så denne muligheten ansees som lite sannsynlig. (4) En ren hydrogenatmosfære med høy temperatur kan ha gitt bidrag til den observerte strålingen. Beregninger tyder imidlertid på at en slik atmosfære ville gi opphav til 100 ganger større strålingsintensitet enn den observerte. (5) Stjernen kan bestå av eksotisk materie med større tetthet enn en nøytronstjerne. Dermed blir utstrekningen mindre, som vist i figur 6. I rapporten favoriseres den siste forklaringen, selv om man gjør det klart at observasjonene på ingen måte beviser eksistensen av kvarkstjerner.



Figur 6. Nøytronstjerne og kvarkstjerne med samme masse. Kvarkstjernen er mindre. Hvor mye mindre, avhenger av tilstandslikningen til nøytronstjernen og hva slags modell man bruker for kvarkstjernen. En nøytronstjerne med 2 solmasser har en radius mellom 12 og 12,5 km, mens en kvarkstjerne med samme masse som beskrives ved MIT-bag modellen, har en radius på 10,8 km. Andre modeller for kvarkstjerner kan gi mindre radius.

Et argument mot at RX J1856.5–3754 er en kvarkstjerne, er at den har for høy temperatur i forhold til alderen. Den har $\lg t = 6$ og $\lg T = 5,85$. Dersom stjernen plottes inn i diagram 5, ser vi at posisjonen passer med en langsom avkjølingskurve som fremkommer når kun den modifiserte Urca-prosessen i ordinær nøytronmaterie er virksom. Av kurvene i figur 1, ser vi også at en radius mindre enn 8 km passer med en kompakt stjerne som har mellom 1,3 og 1,5 solmasser, avhengig av andelen av protoner, dersom materien kan beskrives ved en ikke-relativistisk tilstandslikning.

Konklusjon

De nye røntgenobservasjonene av kompakte stjerner som man har gjort ved Chandra-observatoriet, har fått de involverte astronomene til å spekulere på om de har observert kvarkstjerner. Sannsynligvis har de ikke det. Det finnes mer konvensjonelle forklaringer på observasjonene. Den lave temperaturen til PSR J0205+64 kan forklares dersom den består av superflytende nøytronmaterie. Den lille størrelsen til RX J1856.5–3754 kan ifølge beregninger utført av fysikere i Trondheim og Oslo, være resultat av at materien har egenskaper som passer med nøytron–protonmaterie beskrevet ved en ikke-relativistisk tilstandslikning. Men kanskje vil nye observasjoner gi mer utvetydige tegn på at det eksisterer kvarkstjerner der ute, stjerner som Erlend Østgaard har vært en pionér i å utforske.

Referanser

1. E. Østgaard: *Compact stars: Neutron stars or quark stars or hybrid stars?* Physics Reports, **242**, 313–332 (1994)
2. L. Engvik, G. Bao, M. Hjorth-Jensen, E. Osnes og E. Østgaard: *Asymmetric Nuclear matter and neutron star properties.* Astrophys. J. **469**, 794–807 (1996)
3. G. Gamow og M. Schoenberg: *Neutrino Theory of Stellar Collapse.* Physical Review, **59**, 539–547 (1941)
4. D. Page og J. H. Applegate: *The Cooling of Neutron Stars by the Direct URCA Process.* Astrophys. J. Lett., **394**, L17–L20 (1992)
5. S. Tsuruta et al.: *Confronting Neutron Star Cooling Theories with New Observations.* Internett: *http://www.lanl.gov/* Dokument: *astro-ph/0204508*
6. P. Slane, D.J. Helfand og S.S. Murray: *New Constraints on Neutron Star Cooling from Chandra Observations of 3C58.* Internett: *http://www.lanl.gov/* Dokument: *astro-ph/0204151*
7. Internett: *http://chandra.harvard.edu/press/02_releases/press_041002.html*
8. D.G. Yakovlev, A.D. Kaminker, P. Haensel og O.Y. Gnedia: *The Cooling Neutron Star in 3C58.* Internett: *http://www.lanl.gov/* Dokument: *astro-ph/0204233*
9. J.D. Drake et al.: *Is RX J1856.5–3754 a Quark Star?* Internett: *http://www.lanl.gov/* Dokument: *astro-ph/0204159*

∞

Lys til kreftbehandling

*Johan Moan*** *og Asta Juzeniene* *

Lys brukes i økende grad til diagnostikk og behandling av sykdommer. Noen fargestoffer er uskadelige i mørke, men blir giftige når man lyser på dem. Mange av disse stoffene tas selektivt opp i kreftvev. De kan derfor brukes både til diagnostikk og behandling av kreft, såkalt fotodynamisk terapi. Ett av disse stoffene kan til og med redusere sjansen for å få hudkreft av stråling. Det er derfor aktuelt å bruke i solkrem. I denne artikkelen vil vi se på de fysiske prinsippene som ligger til grunn for fotodynamisk terapi.

De fleste av oss oppfatter lys som noe harmløst og helsebringende, noe uten potensial til å skade oss. Dyr og mennesker trives i lys, og celler skades ikke en gang av det sterke lyset i et mikroskop. Men lyset kan gjøre noen fargestoffer farlige. Celler dør raskt når de belyses i nærvær av slike fargestoffer, som vi kaller fotosensibiliserere. Små mengder fotosensibiliserere finnes i enkelte medisiner, matvarer og parfymer. De kan gi opphav til hudskader under soling. Det hender også at fotosensibiliserere dannes i kroppen på mennesker. Noen pasienter har en sykdomstype som kalles porfyri. De har en svikt i et av enzymene i hemsyntesen. Hem er det røde fargestoffet i blodet. O_2 og CO_2 er bundet til hem under transporten i blodet. Enzymsvikt kan føre til at hem dannes uten jern. Da heter stoffet protoporfyrin IX, PpIX. Mens hem hverken fluorescerer eller har noen fotosensibiliserende virkning, har PpIX en karakteristisk rød fluorescens og er meget giftig under belysning.

Noen fotosensibiliserende stoffer har en tumorsøkende evne. Når de sprøytes inn i forsøksdyr med svulster, eller i kreftpasienter, samles de i større konsentrasjoner i kreftvevet enn i omliggende normalt vev. Hvis vi da kan nå kreftvevet med lys, er det mulig å ødelegge det uten å skade det omliggende vevet for mye. Dette kalles fotodynamisk behandling, PDT (photodynamic therapy).[1] Vi skal se litt på de fysiske og biologiske aspektene av PDT og beskrive kort noen anvendelser.

Fordeler og ulemper ved PDT

I årtier har man lett etter giftige og svulstlokaliserende stoffer til kreftterapi. Hittil har man hatt begrenset hell i letingen etter slike kjemoterapeutiske stoffer. Det viser seg at svulstlokaliserende stoffer samles opp også i flere andre typer vev: raskt voksende vev, lever, milt og nyrer. Det gjør nok også de fotosensibiliserende stoffene vi skal omtale. Men hverken lever, milt eller nyrer utsettes for lys og får ikke skader. Svulstvev kan man imidlertid nå med lys nesten uansett hvor det måtte befinne seg. Moderne fiberoptikk gjør dette mulig. Store fluensrater av lys fra en laser kan fokuseres på enden av en tynn optisk fiber på 0,2–0,6 mm. Slike fibre kan stikkes inn i svulstene eller føres til utkanten av dem. Svulster i hjerne, blære, lunger, spiserør, mage, tarm og prostata kan nås uten store problemer. Men man må vite hvor svulstene er, og de må ikke være så store at lyset ikke kan trenge gjennom dem. Føflekksvulster har mye pigment som absorberer lys, og kan ikke behandles effektivt med PDT. Ved siden av begrenset lysgjennomtrengning har PDT også en annen ulempe: Huden til pasienten tar opp litt av fotosensibilisereren og blir lysfølsom i flere dager etter en behandling.

Hvorfor er noen fotosensibiliserende stoffer svulstlokaliserende?

Dette temaet (Lys som hjelpemiddel i kreftdiagnostikk) er omtalt tidligere i Fra Fysikkens Verden.[2] I korthet kan vi sammenfatte det vi vet slik:

1. *Svulster har ofte dårlig blodtilførsel.* Derfor må svulstcellene ofte skaffe seg energi uten til-

**Institutt for Kreftforskning, Det Norske Radiumhospital, og Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

*Institutt for Kreftforskning, Det Norske Radiumhospital, Oslo.

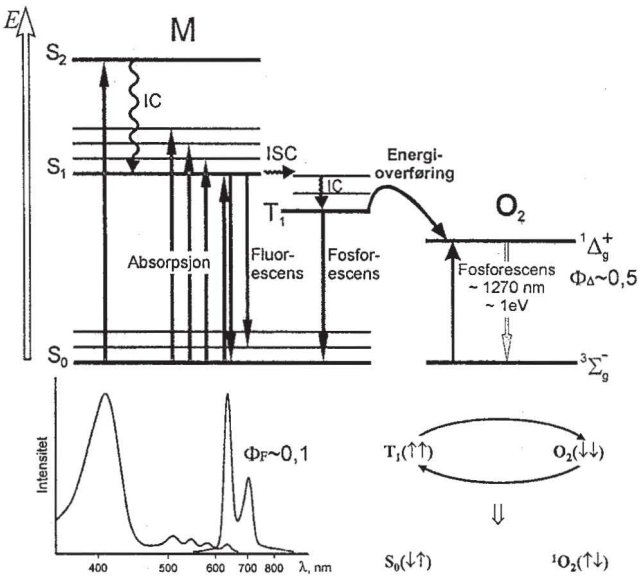
gang på oksygen. Da dannes melkesyre, og svulstene får lav pH-verdi. Noen fotosensibiliserende stoffer blir mer fettløselige når pH-verdien senkes under 7. Dermed trenger de lettere inn i cellemembraner og blir hengende fast i svulstvev.

2. *Svulster som vokser raskt, trenger fett til cellemembraner.* Svulstceller har derfor ofte mange fettreseptorer, LDL-reseptorer, på overflaten (LDL: low density lipoprotein). Mange fotosensibiliserere bindes til lipoproteiner i blodet og dras dermed inn i svulstene.
3. *Svulster har mange makrofager.* Dette er celler som hører immunapparatet til, og som kan ta opp små partikler i seg. Mange fotosensibiliserere har en tendens til å klumpe seg, aggregere, i vannløsninger. Makrofager kan ta opp slike aggregater og på den måten bringe dem inn i svulster.
4. *Blodårene i svulster er ofte lekk* og kan slippe aggregert materiale ut fra blodet til vevet.
5. *Svulster har dårlig lymfedrenasjon* og holder derfor på enkelte stoffer, som fotosensibiliserere, lenger enn normalt vev.
6. *PpIX dannes i kroppen av stoffet 5-aminolevulinsyre, ALA.* ALA er et lite molekyl som vi kan få inn i overfladiske svulster ved å smøre det på oppløst i en salve. PpIX dannes da både i svulster og i normalt vev. Det dannes oftest mest PpIX i svulstene på grunn av enzymatiske faktorer, og fordi huden over svulster ofte er litt mer gjennomtrengelig enn normal hud.
7. *Vanninnholdet i svulster er ofte stort.* Det medfører at de tar opp mer vannløst stoff enn normalt vev.

Hvordan virker fotosensibiliserne?

Som nevnt er fotosensibiliserne uskadelige i mørke, men giftige i lys. Et lyskvant kan gi et fotosensibiliserermolekyl nok energi til å sette i gang en kjemisk reaksjon. I sjeldne tilfeller kan dette skje uten nærvær av oksygen. Et eksempel på det er når lys får psoralenmolekyler til å binde seg til DNA-trådene i hudcellene på psoriasispasienter. Absorpsjon av to lyskvant kan få et psoralenmolekyl til å binde seg til begge trådene i DNA og dermed hindre at DNA dupliseres. Dette er en god medisin for psoriasisceller fordi de deler seg så altfor fort og ukontrollert.

Men i de aller fleste tilfellene inngår oksygen i de lysinduserte reaksjonene til fotosensibiliserne. Her er mye spennende biofysikk. Vi skal se litt på hovedprinsippene slik de er illustrert ved Jablonski-diagrammet i figur 1.



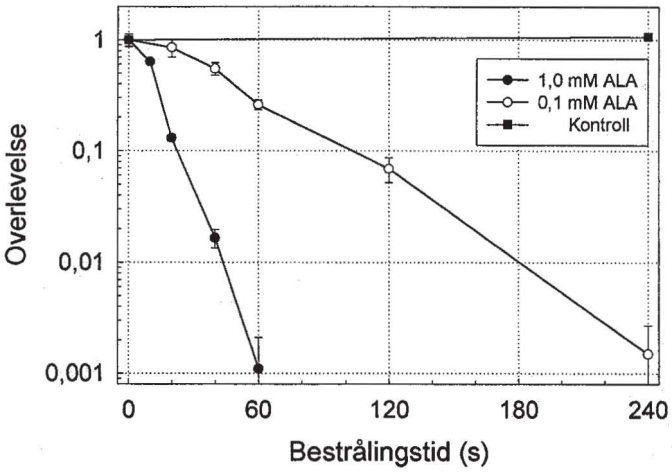
Figur 1. Energidiagram (Jablonski-diagram) som viser viktige energitilstander og overganger i et sensibiliserermolekyl M, samt illustrerer energioverføring fra M i triplett-tilstanden T_1 til oksygen, O_2. De tykke, horisontale linjene illustrerer elektroniske tilstander i 0-te vibrasjonsnivå mens de tynne linjene illustrerer vibrasjonsnivåer. Elektroniske overganger er illustrert ved vertikale piler. S_0, S_1 og S_2 representerer grunntilstanden, 1. og 2. eksiterte singlett-tilstand, respektivt. IC er strålingsløse overganger uten spinnendring, og ISC er en strålingsfri overgang med spinnendring fra en singlett-tilstand (S_1) til en triplett-tilstand (T_1). Absorpsjonsspektret og fluorescensspektret er tegnet nederst til venstre på figuren slik at pilene som illustrerer de elektroniske overgangene kommer rett over de korresponderende toppene i spektrene. Kvanteutbyttet for fluorescens, Φ_F, er rundt 0,1 for mange sensibiliserermolekyler. I gjennomsnitt gir altså omtrent hvert tiende absorberte lyskvant opphav til et fluorescenskvant. Kvanteutbyttet for dannelse av T_1 er høyere, typisk 0,5–0,8, og nesten alle dannede T_1-tilstander gir energioverføring til O_2 under normale fysiologiske betingelser. Overføringen av energi skjer ved utbytting av elektroner mellom M og O_2, som illustrert nederst til høyre på figuren. Elektronene med sine spinn er illustrert med små, vertikale piler. Energioverføringen gir opphav til singlett oksygen, $O_2\,{}^1\Delta_g^+$ (eller ${}^1O_2$). Denne tilstanden har en energi på omtrent 1 eV over grunntilstanden, ${}^3\Sigma_g^-$. Oksygen i tilstanden ${}^1\Delta_g^+$ er derfor mye mer reaktivt og oksyderende enn oksygen i grunntilstanden.

Sensibiliserere, som andre molekyler, befinner seg ved romtemperatur i 0-te vibrasjonsnivå av den elektroniske grunntilstanden, S_0. Med unntak for O_2 er grunntilstanden en singlett-tilstand. Absorpsjon av et lyskvant fører molekylet fra S_0 til høyere eksiterte singlett-tilstander ($S_1, S_2 \ldots$). Overganger ned til S_1 går kjapt ved vekselvirkning med omgivelsene. Derfra kan molekylet avgi sin energi som varme eller som lys (fluorescens) og gå ned til S_0. Men molekylet kan også med betydelig sannsynlighet (0,2–0,8) gå over til sin laveste triplett-tilstand, T_1. Dette skjer ved flipping av spinnet til elektronet i den eksiterte tilstanden, muliggjort ved spinn-bane-kopling.

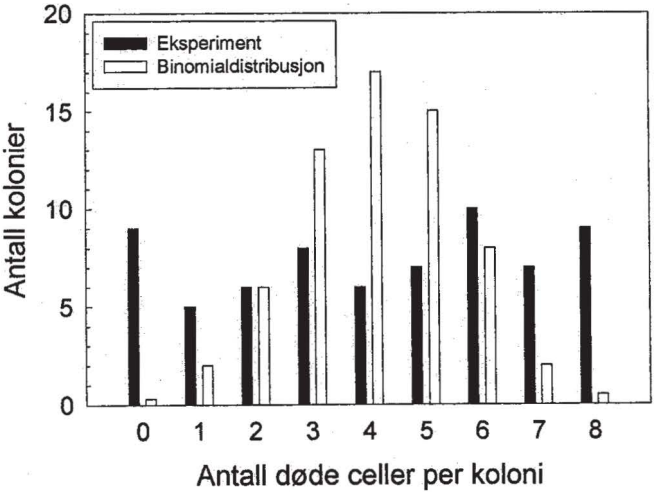
Et sensibiliserermolekyl i T_1 har lang levetid (mikrosekunder til sekunder) i forhold til et molekyl i S_1, der levetiden er av størrelsesorden nanosekunder. Et molekyl i T_1 har derfor tid på seg til å støte på andre molekyler, reagere med dem eller overføre energi til dem. Så godt som alle sensibiliserere som brukes i PDT, overfører sin energi til O_2. O_2 har den særegne egenskapen at det har en grunntilstand som er en triplett-tilstand. Når et sensibiliserermolekyl i T_1 kommer så nær O_2 at elektronskyene til de to molekylene overlapper hverandre, kan det eksiterte elektronet i sensibiliserermolekylet byttes ut med det løsest bundne elektronet i O_2. Derved dannes singlett oksygen, $^1O_2$. Spinnet bevares. $^1O_2$ har mye sterkere oksydasjonsevne enn O_2 i grunntilstanden, og kan oksidere og ødelegge en rekke molekyler. Vi kan nevne kolesterol i cellemembraner, guanin i DNA, samt aminosyrene cystein, histidin, tyrosin og tryptofan. Reaksjoner med $^1O_2$ kan lage peroksyder og kryssbindinger mellom proteiner. Reaksjoner der $^1O_2$ inngår, kaller vi fotodynamiske reaksjoner eller type II fotosensibiliserte reaksjoner.

Når celler bestråles i nærvær av O_2 og fotosensibilisererende stoffer, inaktiveres de meget effektivt slik overlevelseskurvene på figur 2 viser. Slike kurver har en karakteristisk skulder som skyldes at celler kan greie å reparere en del skader. Først når lysdosene blir så store at reparasjonskapasiteten overskrides, begynner cellene å dø.

Et underlig fenomen som vi oppdaget, er at PDT ikke dreper celler uavhengig av hverandre. Hvis små kolonier av celler utsettes for PDT, ser vi at det blir en overhyppighet av kolonier der enten alle cellene dør, eller der alle overlever. Hvis cellene døde uavhengig av hverandre, ville fraksjonen av døde celler per koloni følge en binomialfordeling. Dette er vist på figur 3. Vi kaller fenomenet



Figur 2. Overlevelseskurver for humane kreftceller fra tykktarm. Cellene er inkubert i 24 timer med 1 mM ALA (-•-) og 0,1 mM (-o-) ALA og deretter tilsatt medium uten ALA før de blir bestrålt med 2,7 mW/cm^{-2} lys fra et lysrør med emisjonsmaksimum ved 420 nm. Kontrollkurven viser at lyset alene ikke dreper cellene.



Figur 3. Fordelingen av døde celler i mikrokolonier på 8 celler etter PDT. Hvis cellene døde uavhengig av hverandre, skulle fordelingen være en binomialfordeling.[9] Vi finner imidlertid en stor overvekt av kolonier der enten ingen celler dør eller alle dør.

kooperativ celleinaktivering. Det spiller opplagt en rolle i klinisk PDT. Vi kjenner ennå ikke mekanismene bak fenomenet. Enten sendes "dødssignaler" mellom cellene, eller så hjelper de hverandre over kneika etter den fotodynamiske skaden.[3]

Grovt sett skjer tre ting under PDT:

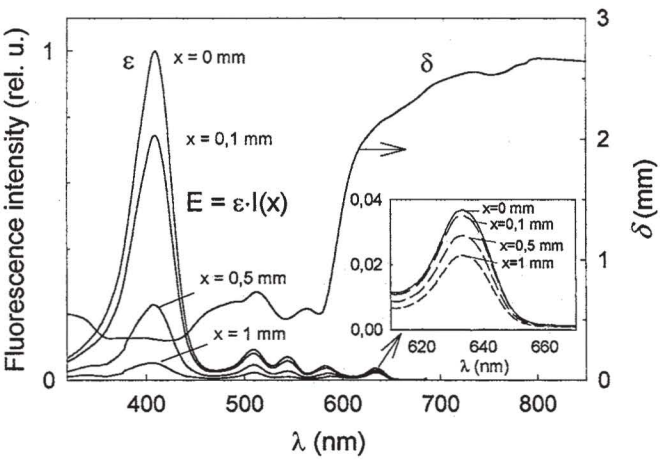
1. *Kreftceller ødelegges direkte,* enten ved ordinær død (nekrose), eller ved at cellenes iboende selvutslettelsesprogram aktiveres (apoptose).
2. *Blodårene i kreftvevet ødelegges.* Svulsten vil da dø av mangel på næring og oksygen.
3. *Immunapparatet stimuleres.* Det forklarer hvorfor PDT noen ganger gir mindre spredning av svulstceller enn kirurgi. I enkelte tilfeller ser det ut til å være mulig å lage kreftvaksiner ved å gi svulstceller PDT utenfor kroppen og sprøyte dem inn igjen.

Oksygen, O_2, må være til stede i større konsentrasjoner enn ca 1 % for at PDT skal virke. Til sammenligning har normalt vev 5 % oksygen. O_2 forbrukes under PDT, som jo er en fotooksydasjonsprosess. Dette skulle tilsi at vi bruker lav lysintensitet slik at O_2-nivået i svulsten kan vedlikeholdes gjennom blodtilførselen. Men blodårene ødelegges jo av PDT. Langvarig behandling kan da gi O_2-reduksjon ved at blodtilførselen etter hvert reduseres. O_2-nivået er også av betydning for inntrengningsdybden av lyset i vevet. Hemoglobin er det viktigste absorberende molekylet i kroppen. Det er likevekt mellom hemoglobin og oxyhemoglobin, som har et annerledes absorpsjonsspektrum. Likevektsblandingen avhenger av O_2-konsentrasjonen. Siden de fleste PDT-sensibiliserne absorberer lys i det samme spektralområdet som oxyhemoglobin og hemoglobin, vil inntrengningsdybden for lyset, δ, forandres hvis O_2-konsentrasjonen forandres under PDT. Ved 630 nm, som ofte brukes i PDT, reduseres δ når O_2-konsentrasjonen avtar.

Valg av lyskilde

Valget av lyskilde er av stor betydning i PDT. Lys fra xenonlamper og halogenlamper har vært mye brukt, men inneholder dessverre mye varmestråling som ikke er lett å bli kvitt. Fluensrater over 150 $mWcm^{-2}$ gir oppvarming av vevet. Ønsker man en ren PDT-effekt, må man holde seg under denne grensen. Det gjøres best ved å benytte lasere som sender ut rent monokromatisk lys uten tillegg av varmestråling. Lasere har også andre fordeler. De gir, som nevnt, lys som kan fokuseres inn på tynne fibre (0,2–0,6 mm) som kan stikkes inn i svulsten. De kan også gi pulset lys som kan ha større inntrengningsdybde enn kontinuerlig lys og kan gi lokal oppvarming i små, absorberende partikler i føflekker eller i små blodårer. De nye diodelaserne er små, driftssikre og ikke altfor dyre. De ser ut til å gjøre PDT til en stadig mer utbredt behandlingsmetode.

Valg av riktig bølgelengde er av stor betydning i PDT. Figur 4 viser tre viktige spektre som må tas hensyn til: inntrengningsdybden i vev, δ, eksitasjonsspekteret av fotosensibilisereren, ϵ, og konvolusjonspekteret $E = \epsilon \cdot I(x)$ i noen forskjellige vevsdybder. $I(x) \approx I_0 \cdot e^{-x/\delta}$, der I_0 er fluensraten like under overflaten, og x er dybden under overflaten. I dette tilfellet vil det lønne seg å bruke en bølgelengde på 410 nm ned til ca. 1 mm. Skal man dypere, bør man bruke lys ved 630 nm.



Figur 4. Inntrengningsdybden δ for lys i humant svulstvev som funksjon av bølgelengden, λ. Eksitasjonsspektret, ϵ, for PpIX tilsvarer kurven merket $x = 0$, der x er avstanden under vevsoverflaten. Korrigerer vi for absorpsjonen i vevet, er eksitasjonsspektrene i de gitte vevsdybder gitt ved konvolusjonsspektret, $E = \epsilon \cdot I(x)$. I første tilnærmelse avtar lysintensiteten etter formelen $I(x) \approx I_0 \cdot e^{-x/\delta}$, der I_0 er den romlige irradiansen like under vevsoverflaten. Den høyre toppen i spektret er vist forstørret ved siden av.

De fleste sensibiliserere ødelegges av store lysdoser. Dette kalles bleking, og har vært mye studert i forbindelse med PDT.[4] Nærvær av O_2 gir raskere bleking, noe som antyder at både PDT og bleking bygger på fotooksydasjon. Bleking er en ulempe hvis man ønsker en sterkest mulig PDT-effekt uten å måtte bruke mye lys, men et gode hvis det er viktig å skåne friskt vev nær svulsten. Siden dette vevet inneholder lavere sensibiliserkonsentrasjoner enn svulstvev, kan konsentrasjonsnivået velges så lavt at det normale vevet ikke ødelegges, mens svulsten ødelegges.

ALA-PDT

Den nyeste versjonen av PDT er såkalt ALA-PDT.[5] En salve med 5-aminolevulinsyre, ALA, smøres på svulsten som produserer det sterkt fotosensibiliserende stoffet protoporfyrin IX, PpIX. ALA er en naturlig forløper for hem. Takket være fine kontrollmekanismer produserer kroppen akkurat passe mengder med ALA. Det lages ikke mer PpIX enn at kroppen hele tiden greier å putte jernioner på det slik at alt PpIX omdannes til hem. Men hvis vi pøser på med ALA utenfra, greier ikke kroppen det, og PpIX hopes opp. Grunnet enzymforskjeller skjer dette i mange tilfeller selektivt i svulster. ALA-PDT benyttes særlig til behandling av hudsvulster og forløpere for hudsvulster. Men flere typer svulster kan behandles, f.eks. i blære, hode og hals. Hudbehandlingen er effektiv og gir ubetydelige eller ingen arr.

Ny solkrem

Vi arbeider også med å utvikle en ny type solkrem som bygger på de samme prinsippene. Historien bak den er som en spennende fortsettelsesroman:

Det hele begynte i 1980 da en av forfatterne (J. Moan) var opponent til et doktorgradsarbeid av Sverre Sandberg, Haukeland sykehus, som omhandlet sykdommen erythropoietisk protoporfyri, EPP. I huden på EPP-pasienter hopes det opp PpIX fordi hudcellene mangler det enzymet som setter jern inn i PpIX til dannelse av hem. Disse pasientene er ekstremt følsomme for solstråling. Selv små doser gir store hudskader som ligner solforbrenning. Men det viser seg at slike pasienter nesten aldri får hudkreft, så de hudskadene de får er i hvert fall ikke kreftfremkallende.

Moan begynte å lure på om PpIX i huden faktisk kunne beskytte mot solindusert hudkreft. PpIX kan lages i huden på friske personer ved å smøre på en salve som inneholder stoffet 5-aminolevulinsyre, ALA, som er et tidlig produkt i den normale produksjonen av hem i kroppen. Normalt produseres, som nevnt, ikke PpIX i målbare konsentrasjoner i oss fordi syntesen av ALA bremses av hem ved en tilbakekoplingsmekanisme. Men smører vi på en ALA-salve, omgås denne mekanismen og vi kan få til en kontrollert produksjon av PpIX. Dette brukes i PDT.

ALA er imidlertid ikke et optimalt stoff i en solkrem. For det første går det gjennom huden, inn i blodårene og kan være svakt giftig for lever og nervesystem. Dessuten er det allerede patentert som stabilisator i en solkrem og vil vanskelig kunne brukes i en ny kommersiell solkrem med den hensikt å virke forebyggende i seg selv. Men så oppdaget Moans forskningsgruppe at derivater av ALA, noen estere, ikke i noen særlig grad går inn i blodårene. De produserer imidlertid PpIX nesten like effektivt som ALA i de øvre hudlag.[6] I mellomtiden ble det i Danmark utført museforsøk med ALA i en krem.[7] De viste at PpIX forsinker hudkreftutvikling under UV-bestråling av musene. Vi hadde da grunnlag for et solkrempatent grunnet på de farmakologiske forskjellene mellom ALA og dens estere, og på den kjente kreftbeskyttende virkning av PpIX.

Hvis vi ønsker å bli brune av soling, vil vi normalt måtte akseptere å ta med på kjøpet en økt risiko for å få hudkreft. Men med den nye kremen kan vi faktisk bli brune og samtidig *redusere* risikoen for hudkreft. PpIX går nemlig ikke inn i cellekjernene og skader derfor DNA minimalt under belysning.

Behandling av andre sykdommer

Det finnes i dag flere fotosensibiliserende stoffer som er under klinisk utprøving.[8] Disse har ulike egenskaper og brukes på forskjellige kreftformer. Man prøver også å behandle andre sykdommer enn kreft med dem. Eksempler er psoriasis, tette blodårer og aldersrelatert netthinneblødning. Særlig i det siste tilfellet ser det ut til at PDT kan bli en suksess. Blindhet kan forsinkes, ja, kanskje forebygges helt. Aldersrelatert netthinneskade er den vanligste årsak til blindhet hos eldre.

PDT vil ganske sikkert finne flere nisjer i medisinsk behandling, og fysikere vil spille en viktig rolle i fremtidig PDT-forskning. Utvikling av bedre lyskilder, av optiske fibre, av avbildnings- og måleteknikker for fluorescens *in vivo,* samt av bedre metoder for lysdosimetri, vil være av avgjørende betydning.

Referanser

1. R.-M. Szeimies and M. Landthaler: *Photodynamic therapy and fluorescence diagnosis of skin cancers.* Recent Results Cancer Res. **160**, 240–245 (2002)
2. J. Moan: *Lys som hjelpemiddel i kreftdiagnostikk.* Fra Fysikkens Verden **61**, (1) 11–16 (1999)

3. J. Dahle, S. Bagdonas, O. Kaalhus, G. Olsen, H.B. Steen and J. Moan: *The bystander effect in photodynamic inactivation of cells.* Biochim Biophys Acta **1475**, (3) 273–280 (2000)
4. R. Bonnett and G. Martínez: *Photobleaching of sensitisers used in photodynamic therapy.* Tetrahedron **57**, (47) 9513–9547 (2001)
5. Q. Peng, T. Warloe, K. Berg, J. Moan, M. Kongshaug, K-E. Giercksky and J.M. Nesland: *5-Aminolevulinic Acid-Based Photodynamic Therapy.* Cancer **79**, 2282–2308 (1997)
6. J. Moan, L.W. Ma and V. Iani: *On the pharmacokinetics of topically applied 5-aminolevulinic acid and two of its esters.* Int. J. Cancer **92**, 139–143 (2001)
7. I.M. Stender, N. Bech-Thomsen, T. Poulsen and H.C. Wulf: *Photodynamic therapy with topical δ-aminolevulinic acid delays UV photocarcinogenesis in hairless mice.* Photochem. Photobiol. **66**, (4) 493–496 (1997)
8. T.J. Dougherty: *An update on photodynamic therapy applications.* J. Clin. Laser Med. Surg. **20**, (1) 3–7 (2002)
9. J. Dahle: *Cell-to-cell interactions in photosensitized inactivation of cells.* Dissertation, University of Oslo (2000)

∞

Bokomtale

Thormod Henriksen: Solstråling, Sol – ozon – helse. Gyldendal Norsk Forlag, 2002 (118 sider).

Thormod Henriksen har opp gjennom årene skrevet en rekke populærvitenskapelige bøker og hefter om miljørelaterte temaer i fysikken: drivhuseffekt, stråling og helse, ozonlag, UV og helse. Han er viden kjent som en dyktig "popularisator". Også hans debattinnlegg i aviser og tidsskrifter er blitt lagt merke til og har skapt friske diskusjoner. Hans nye bok "Solstråling" med undertittel "Sol – ozon – helse", er mye lik publikasjonene "Deilig er den himmel blå" (Thormod Henriksen, Ellen K. Henriksen og Tove Svendby, 1997), "Ozonlag, UV-stråling og helse" (Thormod Henriksen og Tove Svendby, 1997) og "Ozonlaget og UV-stråling" (Thormod Henriksen og Søren H.H. Larsen, 1991). En rekke av figurene i den nye boken er hentet fra de tidligere publikasjonene, men også nye figurer og argumenter er tatt med.

Boken er inndelt i 8 kapitler. Kapittel 1 har overskriften: "Hva er solstråling?" Lysets bølge- og partikkelnatur er kort beskrevet. Henriksen spør hvorfor vi har to "bilder" av lys. Svaret hans er at dette gjør det "enklere å forklare en del observasjoner". Mange vil vel være lite tilfreds med et slikt svar. Presisjonen i formuleringene kunne flere steder ha vært bedre. Transporten av stråling fra solas indre til dens overflate sies ett sted å ta "mange tusen år" og et annet sted "kanskje hundre tusener av år". Dette vet man vel bedre og kan si mer presist.

I dette kapitlet, som i de senere, finnes korte presentasjoner av store forskere og essensielle trekk ved deres bidrag. Her er Einstein og Planck nevnt. Ved siden av disse to store menn er bl.a. følgende personer funnet verdige til å presenteres: Langlo, Larsen, Einbu, Solomon, Svendby, Setlow, Rayleigh og Windaus. Dette må vel sies å være en noe inhomogen blanding!

En mengde uglefigurer og klovner i forskjellige positurer er åpenbart tatt med for å få "fart" i framstillingen. Uglen kan vel sies å representere fysikerens klokskap, men hva med klovnen? Dagens manglende rekruttering til fysikkfaget antyder kanskje at bare intellektuelle klovner velger dette faget? Undertegnede blir i hvert fall ikke høytidsstemt over naturens undere av disse sirkusskapningene!

En meget stor del av boken handler om ozon. Hele fire kapitler er helt eller delvis viet dette temaet. Sammenlignet med andre deler av boken blir dette avsnittet noe detaljert. Mange formuleringer virker litt for spontane: "Målinger på Sydpolen gir fakta!" sies det. Ja, korrekte målinger gir oftest fakta, eller *er* fakta!

Mange av figurene er uklare eller ufullstendig forklart: Det er, for eksempel, umulig å lese verdiene på aksene på figur 2.4. Figurteksten til figur 3.7 sier ingenting om når på året ozonhullet er målt. I forklaringen til figur 5.5 sies det at den årlige UV-dosen øker lineært med ozonfortynningen og at det betyr at én prosent ozonfortynning gir én prosent økning i UV-nivå. Det er selvsagt stigningen på kurven som tilsier dette. Sammenligningen av solspektret med en pengesekk med forskjellige mynter og sedler i er illustrativ, men det er ingen god forklaring å si at "antall sedler og mynter tilsvarer solspektret".

Virkningsspektre vies stor og fortjent oppmerksomhet. CIE-spektret er et "teoretisk spektrum", sies det. Men hvilken "teori" er her brukt? CIE-spektret er et konstruert "gjennomsnittspektrum", en tilnærmelse til målte spektre.

Bokens alvorligste feil er at Setlow-spektret for induksjon av melanomer i fisken Xiphophorus gis uten forbehold. Dette spektret er forsøkt reprodusert av flere, bl.a. av David Mitchell. De finner et Xiphophorus-spektrum som er mer likt CIE-spektret. Ingen trekker Setlows ærlighet i tvil, men fiskeforsøkene er vanskelige å utføre, både biologisk/genetisk og fysisk (spektral renhet av bestrålingen). Denne mangelen på kjennskap til de nyeste forskningsresultatene på et så viktig punkt er en alvorlig svakhet ved boken.

En rekke figurer mangler kildehenvisning. Har Henriksen selv laget figurene 5.2, 5.3, 5.4 og 5.5? Ettersom andre figurer er gitt med henvisninger (f.eks. figur 4.2 fra Svendbys doktorarbeid), kan en få inntrykk av det. Figuren på side 102 er hentet fra en artikkel i Scientific American, men det står det ingenting om. Figuren er forøvrig vanskelig å skjønne ut fra forklaringen her.

Avsnittet, eller skal vi si avsnittene, om reparasjon av DNA-skader er uklare. "I dag kan vi i detalj beskrive en rekke reparasjonsmekanismer", står det. Like nedenfor står det at "vi kjenner to forskjellige reparasjonsmekanismer". Et sted sies det at p53 er et gen, mens et annet sted slås det fast at det er et enzym.

Avsnittet om vitamin D er viktig, men kanskje ikke helt oppdatert. Det sies at "solstråling kan beskytte mot flere tunge kreftforner". Dette er omdiskutert. Undertegnede har sammen med forskere ved Kreftregisteret en tid studert dette i Norge, hvor soldosene er mye større i sør enn i nord. Vi finner ingen støtte for solhypotesen som Henriksen nevner. Osteoporose er noe annet enn osteomalaci, sier han, men forteller ikke hva forskjellen består i. "Vitamin D er et steroid hormon", sies det. Det riktige er at det er en biologisk forløper for et hormon, på samme måte som 7-dehydrokolesterol er en forløper for vitamin D. Teksten kan tyde på at vitamin D_3 dannes i huden på fisk. Er dette riktig? Det burde også vært sterkere poengtert at vitamin D_3 i huden er meget følsomt og brytes ned av store soldoser. Siden mange solarier fortsatt gir små UVB-intensiteter, er det ikke helt korrekt å si at "du kan ikke bruke solarier og tro at du kan danne D-vitamin".

Kapitlet om huden er viktig, men kanskje litt upresist. Det snakkes om "lærhud, underhud og dermis". Er ikke det forskjellige navn på det samme? På en figur av huden kalles en basalcelle keratinocytt. Det er greit å merke seg at melanomer stammer fra melanocytter, basalcellekarsinom fra basalceller og plateepitelkarsinom fra plateepitelceller. Få blir vel kloke av at Henriksen i en tabell sier at hudtype 3 finnes på "middels kaukasiske typer". Han mener at solarier virker brunende bare ved "immediate pigment darkening" (hvorfor ikke norsk?) som er kortvarig. Dette er ikke helt rett.

Bokens to siste kapitler, om sol og helse og om hvordan vi skal sole oss, er interessante og tar opp viktige tema, men inneholder noen unøyaktigheeter og omtrentligheter. Enkelte steder er konklusjonene altfor "kjappe"! Røykere ser eldre ut enn ikke-røykere, sies det (gjør de det?), på grunn av at de har mer metalloproteinaser i huden. Ingen kan med rimelig sikkerhet si at UVA spiller en viktigere rolle for elding av hud enn UVB. "Vanlige glassbriller er like bra som solbriller", sier Henriksen. Men dette gjelder kun enkelte typer solbriller! At urokansyren i huden er kromofor for immunsvekkelse, er langt fra akseptert av alle.

Apoptose kan ikke uten videre koples til UV-effekter på immunforsvaret. Holdningene til solkremer som gjenspeiles i boken, reflekterer ikke det flertallet av forskere mener: Solkremene beskytter mot mange helseskader av UV-stråling, men de må ikke brukes ukritisk slik at solingstiden økes drastisk. De som søker en presis definisjon på "UV-indeks", blir skuffet, ja, kanskje forvirret av boken!

Boken kan være egnet som en "appetittvekker" til fagfeltet fotobiologi for studenter og oppvakte elever i den videregående skole, og for andre med interesse for biologi og fysikk. Men den inneholder noen skjemmende unøyaktigheter som kunne ha vært unngått. "Friske" utsagn og figurer øker knapt den generelle tilliten til boken. Språklig burde den ha vært bedre gjennomarbeidet. En faglig oppdatering på viktige punkter ville ha vært ønskelig.

Johan Moan

∞

HUSK Å MELDE ADRESSEFORANDRING

Trim i FFV

FFVT 4/02

Her er en oppgave fra de riktig gode, gamle dager:

Den distré bankkassereren mottok sjekken som hr. Olesen leverte og utbetalte penger til Olesen. Men hverken kassereren eller Olesen oppdaget at krone- og ørebeløpet ble ombyttet. Etter å ha kjøpt en avis til 5 øre, oppdaget Olesen at han hadde igjen dobbelt så mye som det sto på den innløste sjekken. Hvilket beløp sto på sjekken?

Løsning FFVT 3/02

Brøytebilproblemet

To identiske brøytebiler brøyter like mye snø per tidsenhet uansett snømengde, og det snør jevnt. Den første bilen starter å brøyte klokken 12.00. Klokken 13.00 kjører den andre ut for å brøyte samme ruta. Klokken 14.00 kjørte denne bilen inn i den første bakfra. Når begynte det å snø?

Løsning *utarbeidet av Jon Erik Due-Hansen og Gunnar Løvhøiden med ideer fra Erik Alfsen.*

Snøværet begynner ved tiden $t = 0$. La t_1 være tiden i sekunder fra det begynner å snø til den første brøytebilen kjører ut. Siden det snør jevnt, blir snødybden h_1 foran bil nr. 1:

$$h_1 = at \tag{1}$$

hvor a er snøfall (snødybde) pr. tidsenhet.

Vi innfører hjelpestørrelsene b (bredde på snøskuffen) og c (snømengde som måkes pr. tidsenhet). Strekningen som den første bilen tilbakelegger, x_1, kan beskrives av en differensialligning med tilhørende initialbetingelse:

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{c}{h_1 b} = \frac{c}{ab}\frac{1}{t} \; ; \; x_1(t_1) = 0 \tag{2}$$

Med $\alpha \equiv \frac{c}{ab}$ fås:

$$\frac{x_1}{\alpha} = \ln\left(\frac{t}{t_1}\right) \tag{3}$$

som gir: Ved tidspunktet t er bil 1 ved stedet x_1:

$$x_1 = \alpha \ln\left(\frac{t}{t_1}\right) \tag{4}$$

Tidspunktet t er da:

$$t = t_1 e^{\left(\frac{x_1}{\alpha}\right)} \tag{5}$$

Tilsvarende får vi for brøytebil nr. 2:

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{c}{h_2 b} \; ; \; x_2(t_1 + 3600) = 0 \tag{6}$$

Snødybden h_2 vil for ethvert punkt på strekningen x_2 avhenge av den tiden som er gått siden brøytebil nr. 1 passerte det aktuelle punktet. Ved å benytte oss av (5) får vi:

$$h_2 = a\left(t - t_1 e^{\frac{x_2}{\alpha}}\right) \tag{7}$$

hvor innholdet i parentesen er tiden som er gått siden bil nr. 1 passerte x_2. Ligning (6) antar dermed følgende form:

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{\alpha}{t - t_1 e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)}} \; ; \; x_2(t_1 + 3600) = 0 \tag{8}$$

Ligning (8) er vanskelig å integrere. Erik Alfsen foreslo ligningen snudd opp-ned. Vi skriver da:

$$\frac{dt}{dx_2} = t' = \frac{1}{\alpha}t - \frac{1}{\alpha}t_1 e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} \tag{9}$$

Vi ser først bort fra andre leddet på høyre side, og får:

$$t' = \frac{1}{\alpha}t$$

med løsning

$$t = C\, e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} \tag{10}$$

der C er en konstant.

Dette er bare en delvis løsning av (9). For å få en fullstendig løsning, lar vi nå C være en funksjon av x_2 som vi må finne. Vi setter:

$$t = C\,(x_2) e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} \tag{11}$$

deriverer og får:

$$t' = C'\,(x_2) e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} + C\,(x_2)\frac{1}{\alpha} e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} \tag{12}$$

Vi setter (11) og (12) inn i (9):

$$C'(x_2)e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} + C(x_2)\frac{1}{\alpha}e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} = \frac{1}{\alpha}C(x_2)e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} - \frac{1}{\alpha}t_1 e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right.}$$

De midterste leddene er like, $e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)}$ fjernes, og det blir igjen:

$$C'(x_2) = -\frac{t_1}{\alpha}$$

Vi integrerer og får:

$$C(x_2) = -\frac{t_1}{\alpha}x_2 + D \tag{13}$$

der D er konstant. Funksjonen C er dermed funnet.

Ligningene (11) og (13) gir:

$$t = -\frac{t_1}{\alpha} x_2 e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} + De^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)}$$

Konstanten D bestemmes ved å kreve $x_2 = 0$ for $t = t_1 + 3600$, som gir: $D = t_1 + 3600$. Tiden som funksjon av posisjonen til bil nr. 2 blir:

$$t = -\frac{t_1}{\alpha} x_2 e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} + (t_1 + 3600) e^{\left(\frac{x_2}{\alpha}\right)} \qquad (14)$$

Ved kollisjonen er $x_1 = x_2$. x_1 fra (4) settes inn i (14):

$$t = -\frac{t_1}{\alpha}\left[\alpha \ln\left(\frac{t}{t_1}\right)\right] e^{\ln\left(\frac{t}{t_1}\right)} + (t_1 + 3600) e^{\ln\left(\frac{t}{t_1}\right)}$$

$$t = -t_1 \ln\left(\frac{t}{t_1}\right)\frac{t}{t_1} + (t_1 + 3600)\frac{t}{t_1}$$

$$1 = -\ln\left(\frac{t}{t_1}\right) + 1 + \frac{3600}{t_1}$$

som gir:

$$\ln\left(\frac{t}{t_1}\right) = \frac{3600}{t_1}$$

Kollisjonen skjer ved tidspunktet $t = t_1 + 7200$. Det gir:

$$\ln\left(\frac{t_1 + 7200}{t_1}\right) = \frac{3600}{t_1}$$

Ved enkel iterasjon finnes $t_1 = 2865$. Det vil si: *Snøværet må ha begynt 2865 s før klokken 12.00.00, altså klokken 11.12.15.*

∞

Nye Doktorer

Odd Erik Garcia

Cand.scient. Odd Erik Garcia forsvarte 14. juni sin avhandling *Convective Transport and Sheared Flows in Fluids and Magnetized Plasmas* for graden dr.scient. ved Universitetet i Tromsø.

Når en gass blir varmet opp til høye temperaturer blir de elektriske ladningene i atomene frigjort og de ladede partiklene utgjør et plasma. Mer enn 99 % av den kjente materien i universet er plasma. Elektriske ladninger kan sperres inne i magnetiske felt, men partikkelkollisjoner og ikke-lineære koblinger fører til tap av plasma og energi grunnet bevegelse på tvers av magnetfeltlinjene. Magnetisk innesperring er derfor gjenstand for utforsking og forsøkes i dag brukt til fusjon som en alternativ energikilde. I alle eksperimenter ser man at for mye plasma og energi går tapt ved ikke-lineær transport.

Garcia har i sine teoretiske studier hatt fokus på en spesiell type væskestrømninger som kan redusere den ikke-lineære transporten. Doktorgradsarbeidet omhandler ulike former for generering av slike skjærstrømninger og konsekvensene for plasmatransporten. Garcia viser at slike skjærstrømninger ofte fører til sterke fluktuasjoner i turbulente tilstander, og at de samme prosessene foregår i plasmaet som omslutter jorden og i vanlige væsker med romlig variabel oppvarming som f.eks. roterende gassplaneter. Arbeidet har gitt en dypere forståelse av skjærstrømninger og bekrefter at de generelt fører til redusert ikke-lineær transport.

Deler av studiet har vært utført ved Forskningscenter Risø, Danmark, og Université de Provence, Frankrike. Arbeidet har vært finansiert av Norges forskningsråd.

∞

Lars Egil Helseth

Cand.scient. Lars Egil Helseth forsvarte 14. juni si avhandling *Garnet films for optical imaging and detection of magnetic fields* for dr.scient.-graden ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Prosjektet er i fagfeltetet magnetooptikk.

Det har vist seg at enkelte material kan brukast til å måle og studere magnetiske felt med høg presisjon ved å belyse dei med polarisert lys. Det polariserte lyset vil forandre eigenskapane sine etter å ha treft det magnetooptiske materialet, og den eksakte forandringa avheng av det påtrykte magnetfeltet. Dette er i dei seinare åra blitt brukt innan optisk datalagring og kan finnast i mange kommersielle produkt. Ein har også brukt desse materialane til visualisering av magnetiske feltvariasjonar i defekt stål (for eksempel i røyrleidningar og flyskrog) og til avbilding av magnetprofilar i superleiarar.

I avhandlinga blir ein spesiell type granatar studert i detalj og den magnetooptiske effekten målt. Dei systematiske målingane viser at nye teoriar for dei underliggjande mikroskopiske mekanismane må utviklast. Vidare er det gjort numeriske simuleringar for å forstå og optimalisere det optiske systemet for deteksjon av magnetfelt. Desse viser at det er mogleg å sjå på lokale magnetfelt med strukturar ned mot 200 nanometer. Dette kan til dømes vere av interesse for framtidige system for utlesing av kredittkort. Rettleiarar for prosjektet har vore Michael Baziljevich og Tom. H. Johansen.

∞

Sjur Mo

Sivilingeniør Sjur Mo forsvarte 28. januar i år avhandlinga *Phase structure and critical properties of an abelian gauge theory* for graden dr.ing. ved Institutt for fysikk, NTNU.

Når somme materiale blir kjølt ned under ein kritisk temperatur forsvinn all elektrisk motstand, og materiala går over frå å vera i ein metallisk fase til å bli superleiande. Det å forstå i detaljar kva som skjer i nærleiken av den kritiske temperaturen, har stor interesse både teoretisk og for praktisk utnytting av desse materiala. Etter oppdaginga av høgtemperatur-superleiarar i 1986, er dette blitt spesielt aktuelt.

Mo har studert faseovergangar i ein spesiell modell for superleiarar, Ginzburg-Landaumodellen. Resultata av dette arbeidet viser at danning av løkkeforma straumvirvlar er det som driv faseovergangen frå høgtemperatur-superleiar til normalmetall. I den superleiande fasen finst berre små løkker, medan løkker av alle storleikar blir danna når temperaturen blir auka over den kritiske verdien. Datamaskinsimuleringar er heilt avgjerande for å forstå dette fenomenet.

Mo sitt arbeid er med på å gi betre forståing av kva som skjer i nærleiken av faseovergangar i ein type modell som blir kalla abelsk gaugeteori. Variantar av denne modellen er svært mykje brukt i moderne fysikk. Bruksområda spenner frå superleiing, kvante Hall-effekt, flytande krystallar og smelting av faste stoff, til kosmologi og elementærpartikkelfysikk.

Arbeidet er utført ved Institutt for fysikk, NTNU, med professor Asle Sudbø som rettleiar. Det er finansiert av Noregs forskingsråd og NTNU. Mo er nå forskar ved SINTEF Petroleumsforskning.

∞

Hva skjer

En norsk studentsatellitt

Norske studenter er i ferd med å bygge en miniatyrsatellitt, NCUBE, som skal kunne overvåke skipstrafikken langs kysten og reinsdyrtrekket på Finnmarksvidda. Prosjektet er igangsatt av Andøya Rakettskytefelt (ARS), Nasjonalt senter for romrelatert opplæring (NAROM) og Norsk Romsenter. Deltakende institusjoner er: Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet (NTNU), Høgskolen i Narvik (HiN), Universitetet i Oslo (UiO) og Norges Landbrukshøgskole (NLH). Målsettingen er å bygge opp romteknologisk kompetanse ved disse institusjonene og blant studentene der.

NCUBE bygger på et konsept fra Stanford University, kalt CubeSat, og vil være på størrelse $10 \cdot 10 \cdot 10$ cm med en maksimal vekt på 1 kg. Den vil få en enkel nyttelast bestående av en radiomottaker for såkalte AIS-meldinger fra skip, med tilhørende strømforsyning og telemetri etc. AIS (Automatic Identification Service) er et nytt maritimt informasjonssystem der fartøy over en viss størrelse vil kringkaste sin identitet og posisjon på en VHF-kanal. Med en AIS-mottaker i NCUBE i polar bane i ca. 600 km høyde, ønsker en å demonstrere at en kan overvåke skipstrafikken i norske farvann fra slike satellitter. En vil også utstyre et reinsdyr med en AIS-sender for å vise at denne teknikken også kan brukes til å følge dyr ute i naturen. Prosjektet er nå inne i konstruksjons- og byggefasen. Målsettingen er oppskyting andre halvår 2003.

Flere studiemiljøer i andre land har også satset på CubeSat-konseptet, og den første oppskytingen med i alt 18 satellitter, er planlagt våren 2003.

NCUBE-prosjektet har til nå vært gjennom en forprosjekt- og en studiefase, finansiert av bl.a. Landsdelsutvalget for Nord-Norge, ARS og Norsk Romsenter. Studiefasen omfattet studentrapporter i fagområdene kommunikasjon, bakkesegment, styresystemer, nyttelast, struktur, datahåndtering og kraftforsyning. I alt 52 studenter og 9 veiledere fra HiN, NTNU og NLH, deltok. Nå går arbeidet videre med prosjektoppgaver hvor ca. 20 studenter og 8 veiledere deltar. Disse oppgavene vil ta for seg konstruksjon, utvikling og testing av delsystemene på satellitten. Prosjektoppgavene vil videreføres i hovedoppgaver våren 2003.

Utvikling og bygging av en satellitt gir mange tekniske utfordringer som vil gi studentene verdifull erfaring innen fagområder som kraftforsyning/solceller, styresystemer, databehandling, radiokommunikasjon og bakkestasjon. Uttesting av komponentene vil foretas av studentene med støtte av fagfolk fra Forsvarets forskningsinstitutt og norsk industri. Det satses også på videreføring av prosjektet med bygging av flere tilsvarende satellitter. Mer om prosjektet finnes på Internett: www.rocketrange.no/ncube/

Marianne Vinje Tantillo
prosjektleder, ARS

∞

Oslostudenter får undervisning på Andøya Rakettskytefelt

En samarbeidsavtale mellom Universitetet i Oslo (UiO), Nasjonalt senter for romrelatert opplæring (NAROM) og Andøya Rakettskytefelt (ARS) ble inngått under en høytidelig seremoni i Videnskaps-Akademiet i Oslo 19. september. Denne samarbeidsavtalen skal bidra til å bedre rekrutteringen til realfag og romvirksomhet gjennom kurs og forskningsprosjekter ved ARS og NAROM.

Vi må få ungdommen til å bli begeistret for romvirksomhet, sa adm. direktør Kolbjørn Adolfsen, ARS, under seremonien. Gjennom virksomheten som NAROM driver i samarbeid med flere høgskoler og universiteter, har vi gode erfaringer med at opphold på ARS lokker flere elever og studenter til real- og teknologifag, sa han.

Daglig leder ved NAROM, Arne Hjalmar Hansen, presenterte den omfattende virksomheten som NAROM driver for å øke rekrutteringen til real- og teknologifag ved å ta i bruk de unike ressursene som finnes ved ARS. Gjennom førti år er det investert for mange hundre millioner kroner i laboratorier og utstyr der som ikke finnes andre steder i Norge. NAROM tilrettelegger for bruk av disse ressursene ved at studenter og andre får oppholde seg i perioder på rakettskytefeltet for å få undervisning og gjøre praktiske romrelaterte øvinger.

Universitetsdirektør Tor Saglie understreket at UiO har klare interesser i å kunne tilby studenter og forskere så interessante fasiliteter og muligheter som finnes på Andøya Rakettskytefelt.

Arne Hjalmar Hansen

∞

Nytt fra NFS

Fysikermøtet 2003

Kjære fysikkvenner!

Norsk Fysisk Selskap har 50-årsjubileum i 2003, og vi forbereder oss til historiens største fysikermøte på *Sundvolden Hotell 9–13. august,* i flotte omgivelser ved Tyrifjorden. Møtet arrangeres av Universitetet i Oslo, og vi venter rundt 300 deltagere.

I disse tider med sviktende rekruttering til realfag, usikkerhet ved det nye finansieringssystemet for universitet og høyskoler, og manglende anerkjennelse av naturvitenskapene generelt, er det viktig at fysikerne møtes for å snakke sammen og legge planer for framtida. Det er spesielt gledelig at *landskonferansen til Norsk Fysikklærerforening blir en integrert del av fysikermøtet.* God kontakt mellom skole og forskningsmiljø gir oss muligheter til å løse utfordringer relatert til læring og rekruttering på alle nivå.

For å sikre et bredt og godt program, arrangeres møtet i plenums- og parallellsesjoner. Vi har 9 inviterte plenumsforedrag som vil være av generell interesse. Mer spesialiserte foredrag hører hjemme i parallellsesjonene. I tillegg blir det paneldebatt over temaet "Naturvitenskap og kultur", samt prisutdelinger (Undervisningsprisen, Simrad Optronics Fysikkpris og Norsk Hydros Birkelandpris), se *www.norskfysikk.no/nfs/priser.*

Programmet vil bli oppdatert på vår hjemmeside, *www.fys.uio.no/fysikermote*, etter hvert som brikkene faller på plass. Vi vil særlig oppfordre hovedfags- og doktorgradsstudenter til å presentere sine arbeider. NFS har avsatt 125 000 kroner til reisestøtte for studenter.

Frist for påmelding av foredrag og postere er 1. april. Generell påmeldingsfrist er 1. mai.

Sundvolden Hotel er et topp moderne konferansehotell. Der er godt med utstillingsplass, og bedrifter inviteres til å presentere seg ved "stands". Vi håper at flest mulig overnatter og tar del i de sosiale aktiviteter. Vi trenger ditt bidrag – faglig og sosialt! *Velkommen til Sundvolden 9–13. august!*

På vegne av arrangementskomiteen

Jøran Moen
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo
(jmoen@fys.uio.no)

∞

fysikknett.no

Norsk Fysisk Selskap har laget presentasjoner av moderne fysikk på *fysikknett.no.* Nettstedet er utviklet som et samarbeidsprosjekt med deltakere fra Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Universitetet i Bergen, Universitetet i Oslo og Norges landbrukshøgskole. Den første lansering av dette nettstedet skjer i løpet av desember. Framstillingene er i første rekke rettet mot elever i videregående skole, men de vil også kunne være interessante for et generelt publikum. Målet er å informere, inspirere og rekruttere til realfag generelt. Hensikten er å beskrive aktuelle spennende faglige problemstillinger i fysikk, for å vise at faget er levende og i rivende utvikling. Det er mye ugjort, og i løpet av noen tiår kan man forvente spennende nye resultater som vil kunne forandre vår verden på lignende måte som fysikken har formet det moderne samfunnet de siste 50 år.

Temaene som til nå er presentert er:

- Fra Big Bang til mennesket
- Hverdagsmysterier
- Sansene
- Partikkeleventyret
- Superledning
- Liv og bevissthet
- Kvantefysikk – naturens terningsspill

Videre gis det en kort beskrivelse av fysikkens historie og fysikkens fremtid.

∞

Nye medlemmer 25. oktober 2002

Einar L. Ege
Dalane vgs, Egersund

Sigmund Frigstad
GE Vingmed Ultrasound, Trondheim

Hege Christin Widerøe
Statoil Forskningssenter, Trondheim

∞

B-BLAD

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

Retningslinjer for forfattere

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Norsk Fysisk Selskap

STYRE

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

Visepresident:
Professor Anne Borg
Inst. for fysikk, NTNU, Trondheim.

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

Selskapets sekretær:
Rådgiver Heidi Bruvoll
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 26, Fax.: 22 85 64 22
E-post: heidi.bruvoll@fys.uio.no
Bankgiro: 7878.06.03258

Fra Fysikkens Verden

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

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

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

Ekspedisjonens adresse:
Fra Fysikkens Verden
Fysisk institutt, Universitetet i Oslo,
Boks 1048 Blindern, 0316 Oslo.
Tlf.: 22 85 64 28
Fax.: 22 85 56 71 / 22 85 64 22
E-post: oivin.holter@fys.uio.no
E-post: finn.ingebretsen@fys.uio.no
E-post: karl.maseide@fys.uio.no
Postgiro: 0532 1448307
Bankgiro: 6094.05.40227

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