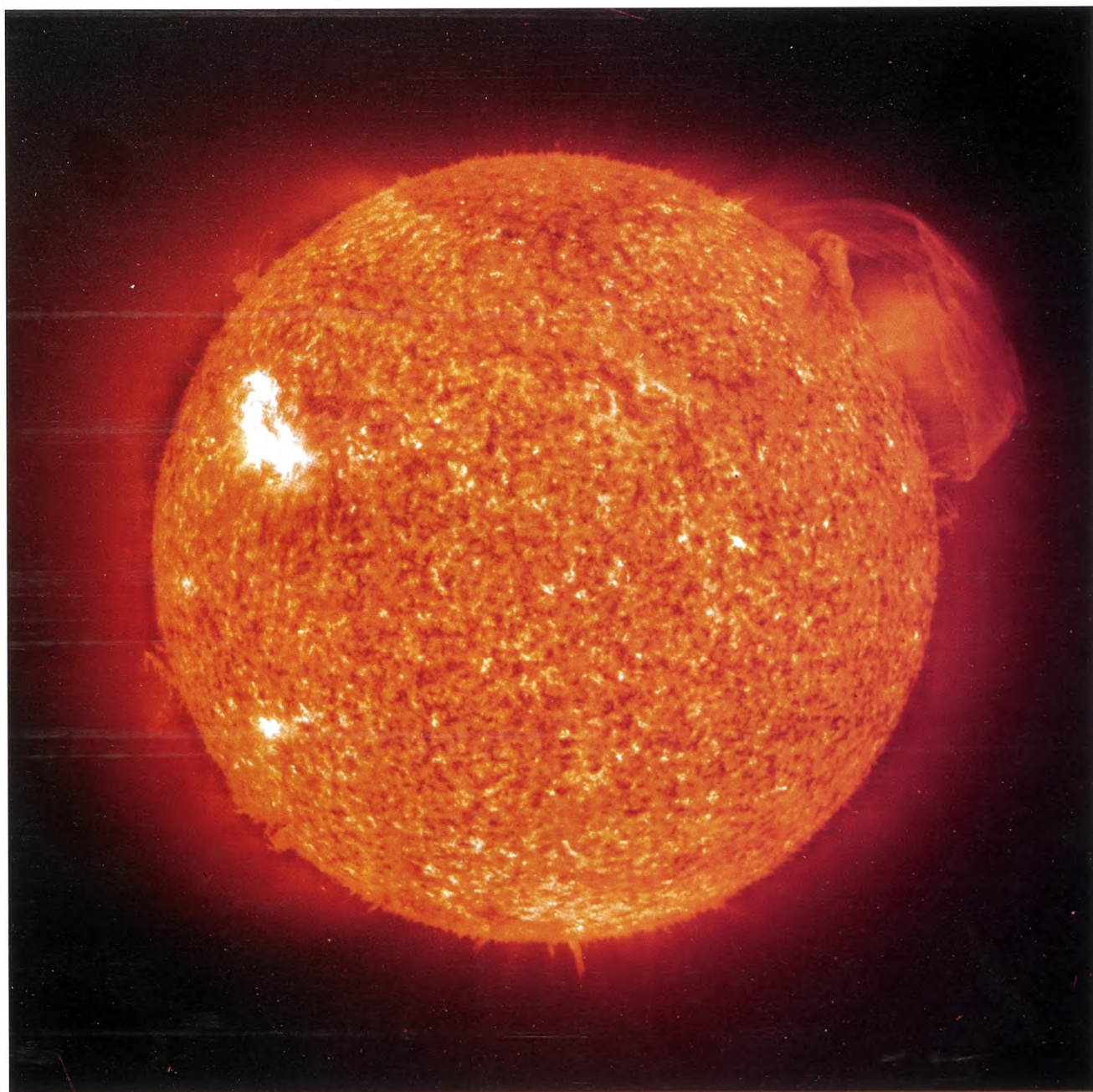


KVANT December 4 2003

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 14. årgang



- FARVESTOFLASERE I LAB-ON-A-CHIP SYSTEMER •
- I FORHOLD TIL HVAD ROTERER JORDEN? • SOLEN I UDBRUD •
- NOBELPRISER FOR SUPERLEDNING OG MAGNETISK RESONANS BILLEDDANNELSE •

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

Ørsted Laboratoriet, Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

Hjemmeside : www.kvant.dk
E-mail : kvant@kvant.dk

Udgives af
Astronomisk Selskab
Dansk Fysisk Selskab
Dansk Geofysisk Forening
Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Redaktion
Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv. red.)
Dansk Rumforskningsinstitut
Michael Cramer Andersen (nyhedsred.)
Astronomisk Observatorium, KU
Camilla Bacher
Kemisk Institut, KU
Jørgen Friis Bak
Aarhus Universitet
Jørn Johs. Christiansen
Torsten Freltoft
Sophion Bioscience A/S
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut, KU
Finn Berg Rasmussen
Ørsted Laboratoriet, KU
Svend E. Rugh
Ove Østergaard
Silkeborg Amtsgymnasium

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Abonnementspris: 135 kr/år.

Annoncepriser
1/1 side 3000 kr
1/2 side 1600 kr
1/4 side 1000 kr
Farvetillæg 1800 kr

Priserne er excl. moms og for reproklart materiale. Henv. om annoncer til redaktøren, tlf. 35 32 57 32 eller 28 91 87 74. Henv. vedr. abonnement til forretningsfører Lene Körner tlf. 35 32 07 62 (koerner@kvant.dk).

Oplag: 3.000. Tryk: P. J. Schmidt A/S,
Vojens. ISSN 0905-8893



Produktionsplan
Nr. 1-04 udkommer ca. 15. marts
Nr. 2-04 udkommer ca. 15. maj
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

Indhold:

Polymer farvestoflasere til integration i lab-on-a-chip systemer <i>S. Balslev, B. Bilenberg, J. P. Kutter og A. Kristensen</i>	3
Nobelpris for superledning <i>Morten Ring Eskildsen og Per Hedegård</i>	7
I forhold til hvad roterer Jorden? <i>Jens Martin Knudsen og Poul G. Hjorth</i>	10
Nyt fra Dansk Geofysisk Forening	17
Studerende fra Odense arrangerede fysikkonference <i>Christian Janfelt</i>	18
Magnetiske dipoler og monopoler – Læseropgaver <i>Jens Højgaard Jensen</i>	19
Nobelpris for magnetisk resonans billeddannelse <i>Lise Vejby Søgaard</i>	20
“Overdrevet god oplevelse” – Fysikworkshop <i>Mikkel Bo Nielsen</i>	23
Kvant-nyheder <i>Michael Cramer Andersen</i>	24
Moderne kosmologi på populært dansk <i>Michael Cramer Andersen</i>	26
Solen i udbrud <i>Michael J. D. Linden-Vørnle og Jens Olaf Pepke Pedersen</i>	Bagsiden

Henvendelser vedrørende abonnement og adresseændring bedes ske til Lene Körner (koerner@math.ku.dk, telefon 35 32 07 62). Kvant udsendes gratis til alle landets gymnasier, HF-kurser, tekniske skoler, seminarier m.fl. Hvis du er lærer et af disse steder og din arbejdsplads ikke modtager Kvant opfordres du også til at rette henvendelse til Lene Körner. Bestilling af klassesæt og ældre numre af bladet (20 kr. / stk.) kan ske på kvant@nbi.dk.

Forsiden:

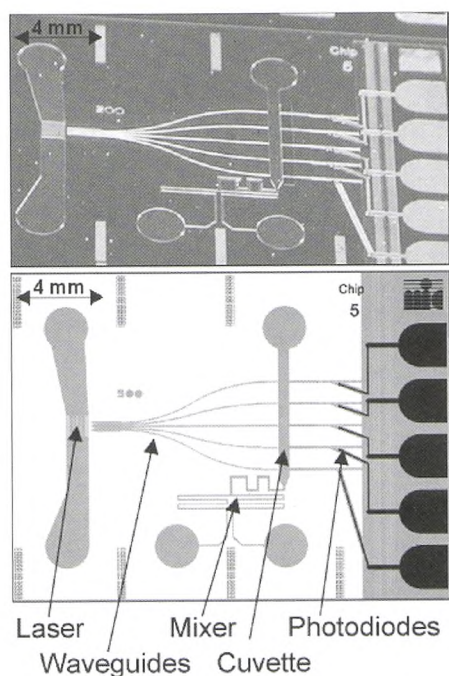
SOLEN

Solen har i dette efterår været i stor aktivitet. Læs mere Kvant-nyhederne side 24 og i artiklen på bagsiden af bladet. Forsidebilledet er taget med EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope) ombord på SoHO (Solar and Heliospheric Observatory).

Polymer farvestoflasere til integration i lab-on-a-chip systemer

Søren Balslev, Brian Bilenberg, Jörg P. Kutter og Anders Kristensen, Institut for Mikro- og Nanoteknologi, Danmarks Tekniske Universitet.

“Lab-on-a-chip” systemer [1] er tænkt som små chips, der kan udføre analyseopgaver, hvor man almindeligvis har brug for et laboratorium af normal størrelse. Disse chips vil kunne udføre kemiske og biologiske analyser hurtigere og billigere end i dag. En central udfordring i udviklingen af lab-on-a-chip systemer er at fabrikere laboratoriekomponenterne på meget lille skala på en måde, så man kan integrere dem på samme chip – helst i én arbejdsgang. Lasere er en af de komponenter, som ofte anvendes til analyser i laboratorier. På MIC – Institut for Mikro- og Nanoteknologi ved Danmarks Tekniske Universitet (DTU), arbejdes der på at finde metoder til at integrere lasere i lab-on-a-chip systemer.



Figur 1. Eksempel på lab-on-a-chip system til absorptionsmåling designet og fabrikeret på MIC [2]. Systemet består af en laser-lyskilde med variabel laserbølgelængde, bølgeledere til at lede lyset rundt i systemet, en kuvette hvori absorptionen finder sted og fotodioder til at måle intensiteten af lyset, der har passeret igennem kuvetten.

Figur 1 viser et lab-on-a-chip system med integrerede optiske komponenter udviklet og fremstillet på MIC [2]. Systemet er designet til absorptionspektroskopi på en væskeprøve. På chippen findes en laser-lyskilde med variabel laserbølgelængde, bølgeledere til at lede lyset rundt på chippen, væskekanaler hvor en væskeprøve kan blandes inden

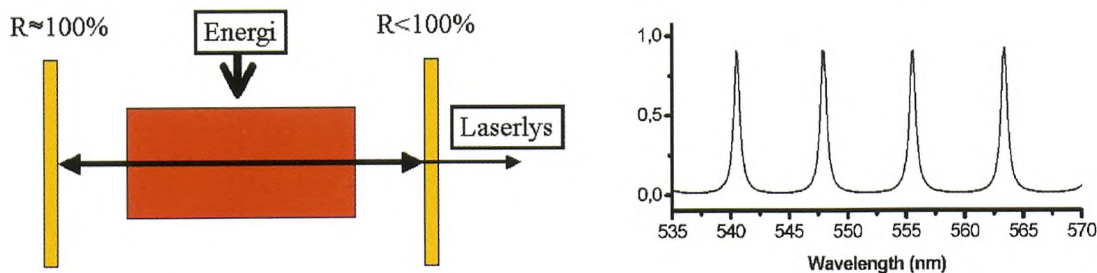
den sendes gennem en kuvette, hvori absorptionen måles, og endelig fotodioder til at måle intensiteten af lyset, der har passeret igennem kuvetten.

Det er ønskeligt at have integrerede lasere i lab-on-a-chip systemer, fordi man ellers er nødt til at koble lyset ind på chippen fra en ekstern lyskilde ved at oplinere chippen til optiske fibre. Opliniering af optiske bølgeledere er tidskrævende og svær at reproducere. Hvis en chip skal kunne udskiftes nemt og hurtigt f.eks. i et analyseapparat, er den optimale løsning derfor at integrere laseren på chippen.

En laser består grundlæggende af to spejle der vender mod hinanden og et medium mellem spejlene, som kan forstærke lys, figur 2. Det forstærkende medium skal have energi udefra, ofte i form af elektricitet eller lys, og kan forstærke lys over et bølglængdeområde der er bestemt af egenskaberne for mediet.

De to spejle, der vender mod hinanden, udgør en optisk resonator. En optisk resonator har den egenskab, at den tillader lys at blive fanget mellem spejlene i kort tid, men kun for en række af diskrete bølglængder – modes, se figur 2. Hvis det forstærkende medium kun forstærker lys fra én af de diskrete bølglængder, som understøttes af den optiske resonator, er der tale om “single mode lasing”. Single mode lasing er ønskelig til anvendelser, hvor man vil udnytte lysinterferens eller har brug for en høj grad af monokromatisme.

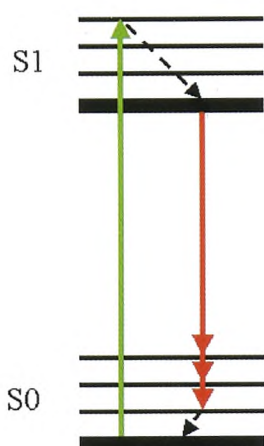
I mikrolaserne, som vi arbejder med på MIC, anvendes organiske farvestoffer som lysforstærkende medium. Figur 3 viser et simplificeret energi-diagram for de to laveste elektrontilstande i et organisk farvestofmolekyle. Til hver elektrontilstand hører et bånd, S_0 og S_1 på figuren, af vibrations- og rotationstilstande for farvestofmolekylet. Ved absorption af lys kan molekylet eksiteres fra grundtilstanden i S_0 til en højere liggende tilstand i S_1 (grøn pil). Molekylet henfalder dog hurtigt uden lysudsendelse til den laveste S_1 tilstand (sort stiplede pil). Herfra er der mulighed for, at molekylet henfalder til en af de øvre tilstande i S_0 (rød pil), under udsendelse af lys, ved enten spontan eller stimuleret emission. Pga. vibrations- og rotationstilstandene kan henfaldet fra S_1 til S_0 resultere i udsendelse af lys i et bredt spektrum. Figuren illustrerer også det såkaldte Stokes-skift, hvor det udsendte lys har længere bølglængde (dvs. mindre fotonenergi) end det absorberede lys. Farvestoffet Rhodamin 6G kan således udsende lys med bølglængder mellem ca. 532 nm (grønt lys) og mere end 600 nm (rødt lys), når det



Figur 2. Venstre: Principskitse af laser bestående af to spejle og et forstærkende medium. Højre: Modes for resonator bestående af spejle med en indbyrdes afstand på 10 μm illustreret ved transmissionen gennem resonatoren.

eksiteres vha. grønt lys med bølgelængde 532 nm fra en frekvensdoblet Nd:YAG laser.

Med standard mikrofabrikations-teknologi har vi fremstillet en mikrolaser opbygget på samme måde som den skematiske laser i figur 2. Laseren består af en væskekanal, hvori Rhodamin 6G opløsningen kan strømme. På kanalens bund og top er der i et lille område lagt et lag af krom og guld, der fungerer som spejle for laserresonatoren, figur 4.

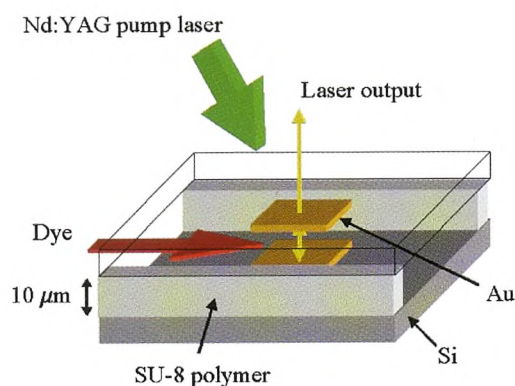


Figur 3. Simplificeret energi niveaudiagram for laserovergangen i Rhodamin 6G. Molekylet eksiteres til en højere tilstand i elektrontilstand S1, som henfalder uden lysudsendelse til den laveste tilstand før molekylet henfalder til grundtilstand S0. Henfaldet til S0 kan ske ved et helt bånd af bølgelængder.

Efter kanalen er blevet fyldt med en opløsning af farvestof, typisk 1–100 mmol/L af Rhodamin 6G i alkohol, eksiteres farvestoffet med lyset fra Nd:YAG laseren. Farvestoffet i laserresonatoren udskiftes kontinuerligt, idet farvestoffet pumpes gennem den 10 μm dybe og 0,5 mm brede væskekanal med ca. 10 $\mu\text{L}/\text{time}$. Laserlyset fra chippen udsendes vinkelret i forhold til chippens plan¹, og opsamles sædvanligvis med en optisk fiber, så det kan analyseres. Typiske spektra kan ses i figur 5.

Bølgelængden, ved hvilken laseren begynder at lase, dvs. hvor forstærkningen lige netop overvinder tabene i

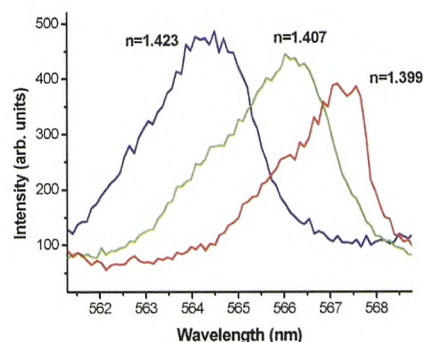
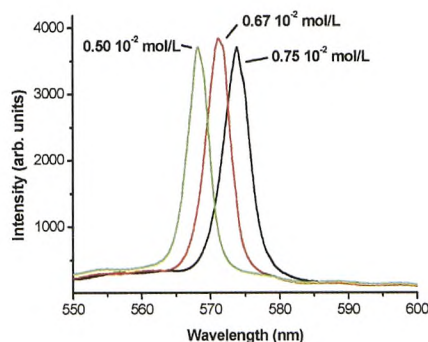
resonatoren, er bestemt af den bølgelængde, hvor mediet forstærker mest, og af hvilke bølgelængder, der tillades af den optiske resonator, jf. figur 2. Den endelige laserbølgelængde vil være et kompromis mellem disse to bestemmende faktorer, hvilket vi har udnyttet til at modulere laserbølgelængden for den beskrevne laser.



Figur 4. Skematisk illustration af mikrolaseren. Farvestofkanalen er 10 μm høj og 0,5 mm bred. Farvestoffet eksiteres vha. en Nd:YAG laser (532 nm) gennem det øverste spejl. Kanalen er fremstillet i en foto-definerbar polymer, SU-8, og er forseglet med et lag af pyrex-glas.

Absorptions- og emissionsspektret for Rhodamin 6G er skitseret i figur 6. Har man et ensemble af farvestofmolekyler, vil ensembles lysforstærkning afhænge af antallet af molekyler i grundtilstanden og antallet i den eksiterede tilstand. Molekylerne i grundtilstanden vil absorbere lys, jf. absorptionspektret, mens molekylerne i den eksiterede tilstand vil kunne forstærke lys via stimuleret emission, jf. emissionsspektret. Kombinationen af absorption og stimuleret emission giver et resulterende forstærkningsspektrum, hvis præcise maksimum og form afhænger af, hvor mange af molekylerne der er eksiteret. Det vil sige; den bølgelængde hvor forstærkningen er størst, afhænger af, hvor meget man eksiterer sine molekyler. Antallet af molekyler der befinder sig i ensemblet afhænger af, hvor koncentreret opløsningen af Rhodamin 6G er, og koncentrationen bestemmer derfor, hvor stor en andel af molekylerne der skal

¹Laseren på chippen i figur 1 er af et senere design, hvor lyset udsendes lateralt, i chippens plan.



Figur 5. Venstre: laserspektra for forskellige koncentrationer af Rhodamin 6G i alkohol. Højre: laserspektra for forskellige blandinger af alkohol og ethylen glykol (målinger fra multimode laser).

være eksiteret, før lasing indtræder. Således afhænger laserbølglængden af koncentrationen, som det er skitseret i figur 6. Med farvestoffet Rhodamin 6G kan laserbølglængden varieres mere end 30 nm ved at ændre på koncentrationen af farvestoffet.

Bølglængden ændrer sig også med opløsningsmidlets brydningsindeks. De bølglængder, λ_q , som den optiske resonator tillader, er givet ved

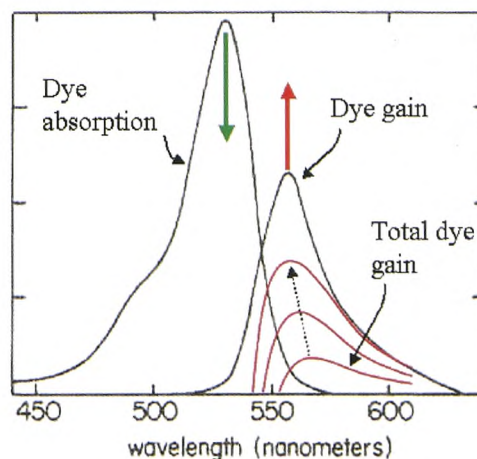
$$\lambda_q = \frac{2nL}{q+1}, \quad (1)$$

hvor L er resonatorlængden, n er brydningsindekset af mediet mellem spejlene og q er mode-nummeret. Bølglængden for et givent mode-nummer q , afhænger lineært af brydningsindekset mellem de to spejle. Brydningsindekset af opløsningsmidlet for Rhodamin 6G opløsningen bestemmer således den nøjagtige laserbølglængde, figur 5. Anvendes forskellige blandinger af alkohol, $n=1,33$, og ethylen glycol, $n=1,46$, viser det sig, at bølglængden for en mode kan varieres mere end afstanden mellem de forskellige modes.

Det har været kendt i mere end 30 år, at laserbølglængden i farvestof lasere afhænger af farvestofkoncentrationen. Men først ved anvendelse af lab-on-a-chip mikroteknologi, hvor små væskemængder kan blandes hurtigt og præcist, bliver dette princip praktisk anvendeligt til fremstilling af tunbare lasere. Ved at indbygge en mixer på chippen, er det muligt at variere farvestof-koncentrationen og brydningsindekset løbende - og dermed variere laserbølglængden kontinuerligt, mens laseren er i drift [3].

Således er tuning af en mikrofluid-farvestoflaser demonstreret uden at anvende bevægelige dele ud over væske i en kanal. Laseren fabrikere i en polymer, som også kan anvendes til at fremstille andre optiske og fluide komponenter. Laseren er derfor nem at integrere i lab-on-a-chip mikrosystemer. Der kan lægges flere lasere på den samme chip, som kan lase med hver sin bølglængde, for eksempel til brug i flow-cytometre. Fremstillingen af chipbaserede tunbare mikrolasere er

et eksempel på, at miniaturiseringen af makroskopiske apparater og komponenter ikke blot er en formindskningsproces, men kræver nytænkning og udnyttelse af de nye muligheder der opstår, når tingene bliver små.



Figur 6. Forstærkningsdynamik for ensemble af Rhodamin 6G. Det totale forstærkningsmaksimum går mod kortere bølglængde jo flere molekyler der er eksiteret, fordi absorptionen falder og den Stokes-skiftede forstærkning stiger.

Referencer:

- [1] Jonathan Knight (2002) "Honey, I shrunk the lab", *Nature*, bind **418**, august 2002, side 474-475.
- [2] S. Balslev, B. Bilenberg, O. Geschke, A.M. Jorgensen, A. Kristensen, J.P. Kutter, K.B. Mogensen, og D. Snakenborg (2004) "Fully Integrated Optical System for Lab-on-a-chip Applications", *Proc. 17th IEEE Conference on Micro Electro Mechanical Systems*, MEMS 2004, Maartricht, The Netherlands, January 25-29, 2004.
- [3] B. Bilenberg, B. Helbo, J.P. Kutter and A. Kristensen (2003) "Tunable Microfluidic Dye Laser", *Proc. 12th Int. Conf. on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems*, Transducers'03 Boston, MA, USA, June 8-12, 2003, side 206-209.

Artiklens forfattere vandt den ene af i alt tre posterpriser, som blev uddelt ved Dansk Fysisk Selskabs årsmøde 2003.



Søren Balslev er cand.scient. fra KU, har arbejdet to år i industrien og er nu i gang med et Ph.D- studie inden for polymer-farvestoflasere.



Brian Bilenberg (øverst th.) er cand.polyt. fra DTU, forskningsassistent ved MIC på DTU og har arbejdet med polymer-farvestoflasere i forbindelse med eksamensprojekt.



Jörg P. Kutter (nederst tv.) er Ph.D. og lektor ved MIC på DTU. Han er uddannet indenfor analytisk kemi og har arbejdet med kemiske mikrosystemer i de sidste otte år.



Anders Kristensen (nederst th.) er cand.scient. og Ph.D. i fysik fra KU. Han er lektor ved MIC på DTU, hvor han arbejder med nanoimprint litografi og polymer baserede lasere.

Fysik og kemi i fremtidens gymnasium

Styrkelse af det faglige niveau? Nye mål?

Dansk Fysisk Selskabs og Kemisk Forenings Sektioner for Uddannelse og Undervisning indbyder hermed til konference om **Fysik og kemi i fremtidens gymnasium** på Karlslunde Strand Kursus Center, **5.-6. februar 2004**.

Der er i oktober 2003 fremsat lovforslag om, at det danske, almene gymnasium skal reformeres kraftigt i 2005 – bl.a. forsvinder opdelingen mellem matematikere og sproglige. Gymnasiets overordnede formål skal være, *at forberede eleverne til videregående uddannelse*.

Der er ikke kun lagt op til strukturændringer, men også til ændringer i fagene og deres indhold. Således bliver FYSIK obligatorisk for alle (på såkaldt C-niveau), mens KEMI bliver et valgfag. Det fremhæves generelt, at *de naturvidenskabelige fag nytænkes med større vægt på fagenes almindelige dimensioner*, og specielt for fysik, at der skal ske *nytænkning af fysikundervisningen, såvel i indhold som tilrettelæggelse, så undervisningen på elementær vis kan præsentere væsentlige sider af naturvidenskabernes verdensbillede og samtidigt sikre samspillet med såvel andre naturvidenskabelige fag som med de humanistiske, samfunds- og kunstneriske fag*.

Det første halve år indføres for alle elever et *naturvidenskabeligt grundforløb*, som bl.a. skal give basis for elevernes valg af studieretning de sidste $2\frac{1}{2}$ år, og der indføres *almen studieforberedelse* gennem hele forløbet.

Formålet med konferencen er at få diskuteret fremtidens almengymnasiale fysik- og kemiundervisning samt konsekvenserne for de videregående teknisk/naturvidenskabelige uddannelser – og på dette grundlag at komme frem til kommentarer, anbefalinger og forslag fra Fysik og Kemi i Danmark.

Prisen for deltagelse er 1.450 kr inkl. fuld forplejning, og tilmeldingsfristen er 15. januar 2004. Yderligere oplysninger kan fås på www.nbi.dk/dfs og www.kemisk-forening.dk eller ved henvendelse til Erik Both, Institut for Fysik, DTU (4525 3151, both@fysik.dtu.dk), som også tager imod tilmelding via e-mail.

Nobelpris for superledning

Morten Ring Eskildsen, University of Notre Dame, og Per Hedegård, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

Så skete det igen! Årets Nobelpris i fysik gik til fysikere, der har beskæftiget sig med superledning. Dette er faktisk sket ikke mindre end 6 gange tidligere i prisens historie. Denne gang er det 3 teoretiske fysikere, der deler prisen: Vitaly Ginzburg, Alexei Abrikosov og Anthony Leggett. For folk med en smule kendskab til superledning kan det måske undre en smule: Har Ginzburg og Abrikosov virkelig ikke modtaget prisen for længst?

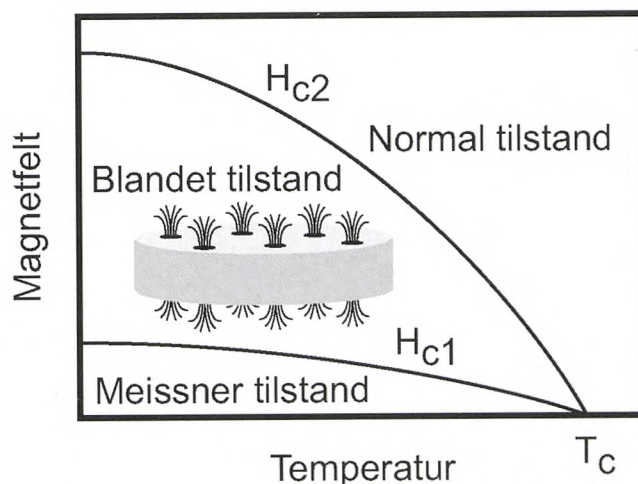
Ginzburgs og Abrikosovs arbejder med superledere daterer sig helt tilbage til 1950'erne og er absolutte klassikere i fysikkens historie, der gennemgås i enhver lærebog om faststoffysik eller superledning. Leggetts arbejde er nyere – det stammer fra begyndelsen af 1970'erne og beskæftiger sig med teorien for superflydende ^3He . Så, mens vi – stadig – venter på teorien for højtemperatur superledning, har Nobelkomiteen valgt at gøre bordet rent og få afviklet det hængeparti, som mange mener man burde have klaret for længst.

Troldmanden og hans lærling – Landau og Ginzburg

Indtil starten af 1950'erne havde man overhovedet ikke nogen samlet forståelse af superledning. Men i Sovjetunionen skete et afgørende og varigt fremskridt. Den kolde krig forhindrede imidlertid at dette blev accepteret endsize opdaget i vesten. I USA var det midt under McCarthy-perioden, og det betød f.eks., at tidsskrifter fra Sovjet blev undertrykt – i et helt ekstremt tilfælde blev de dumpet i Bostons havn. Den store fysiker i Moskva var Landau, som var altdominerende. Han havde lært kvantemekanik mens den blev formuleret, bl.a. i København, og han havde lavet en streng skole i teoretisk fysik. Baseret på sin egen teori for anden ordens faseovergang, formulerede han sammen med den unge Vitaly Ginzburg den berømte Ginzburg-Landau (GL) teori i 1950 – hele 7 år før en mikroskopisk beskrivelse af superledning blev givet i BCS-teorien.

I GL teorien [1] er beskrivelsen af den superledende tilstand knyttet til karakteristiske længdeskalaer som på naturlig vis beskriver hvorledes superlederen reagerer på et påtrykt magnetfelt. Disse længder angiver dels hvor langt magnetfeltet trænger ind i superlederen og dels over hvilken afstand amplituden af den superledende ordensparameter kan variere. De benævnes henholdsvis indtrængningsdybden (λ) og kohærenslængden (ξ). Forholdet imellem de to længder kaldes idag GL-parameteren, $\kappa = \lambda/\xi$, og bruges til at klassificere superledere i to typer, som vi skal se i det følgende. Det er klart at der lå en imponerende

fysisk intuition bag ved fremsættelsen af GL teorien, og dens store gennemslagskraft bunder i at den kan relateres direkte til de grundlæggende målbare størrelser som karakteriserer den superledende tilstand, og derfor kan anvendes til tolkning og analyse af eksperimentelle resultater.



Figur 1. Generisk fasediagram for en superleder med $\kappa > 1/\sqrt{2}$ (type-II). Her betegner H_{c1} og H_{c2} hhv. det nedre og øvre kritiske felt. Indsat er illustreret hvorledes magnetiske hvirvler gennemtrænger superlederen.

Abrikosov's hvirvler

Da alle superledere man var bekendt med i 1950 havde $\kappa \ll 1$, havde Ginzburg og Landau i deres analyse koncentreret sig om dette grænsetilfælde [1], men dog noteret sig at der for $\kappa > 1/\sqrt{2}$ var en sær instabilitet, associeret med en negativ overfladeenergi imellem normalt ledende og superledende domæner.

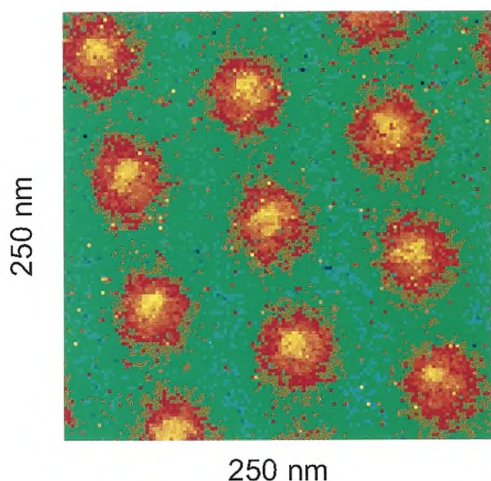
I 1950 begyndte Alexei Abrikosov at studere naturen af den superledende tilstand for $\kappa > 1/\sqrt{2}$ motiveret af bemærkelsesværdige eksperimentelle resultater opnået af hans værelseskammarat på universitetet, N. N. Zavaritskii. Han gennemførte en videreudvikling af GL-teorien og fandt et respons på et påtrykt magnetfelt som var vidt forskelligt fra tilfældet $\kappa < 1/\sqrt{2}$. I stedet for et totalt kollaps af den superledende tilstand og dermed Meissner-effekten ved et kritisk felt, ville der i stedet dannes et periodisk mønster af afgrænsede normalt ledende domæner hvor ordensparameteren gik til nul. Omkring disse domæner ville superstrømme cirkulere, og dermed afskærme feltet fra resten af superlederen. At den superledende tilstand var beskrevet ved en makroskopisk kohærent bølgefunktion, hvis

faseforskel ved et omløb skulle være et helt multiplum af 2π betød yderligere, at den magnetiske flux i hvert domæne måtte være kvantiseret. Denne nye blandede tilstand ville være robust til meget højere felter, og dermed optage størstedelen af superlederens fasediagram (se figur 1).

Abrikosov opnåede disse kontroversielle resultater i 1953, men stødte på stor modstand hos Landau som ikke umiddelbart ville anerkende deres rigtighed. Først efter at Richard Feynman i 1955 havde foreslået tilstedeværelsen af hvirvler i ^4He lykkedes det at overbevise Landau, og Abrikosov kunne publicere sine resultater i 1957 [2]. Alexei Abrikosov var blevet den superledende hvirvels fader! Tilsammen kaldes undertrykkelsen af ordensparameteren og den cirkulerende skærmsstrøm idag for Abrikosov hvirvler (vortices) eller fluxlinier. Betydningen af den karakteristiske værdi af κ har ført til klassificering af superledere som enten type-I ($\kappa < 1/\sqrt{2}$) eller type-II ($\kappa > 1/\sqrt{2}$).

Hvirvelbilleder

Abrikosov havde forudsagt at hvirvlerne ville optræde i et ordnet mønster eller hvirvelgitter. Den første eksperimentelle observation af dette kom i 1964, hvor D. Cribier og kollegaer udnyttede den periodiske magnetfeltmodulation som hvirvelgitteret medførte til at diffraktere neutroner i meget små vinkler. Tre år senere, i 1967, kom det første "rigtige" billede hvor U. Essmann og H. Träuble havde dekoreret hvirvelgitteret med mikroskopiske jernpartikler. I løbet af de sidste 15 år er studiet af enkelte hvirvler og hvirvelgitteret blevet udvidet til at være et selvstændigt forskningsfelt (eng. vortex matter), som benytter sig af en række sofistikerede eksperimentelle teknikker, der bl.a. inkluderer småvinkel neutronspreddning [4] og skanning tunnel spektroskopi (se figur 2).



Figur 2. Hvirvelgitteret i MgB_2 afbildet ved hjælp af scanning tunneling spektroskopi (M. R. Eskildsen).

Endvidere er de dynamiske egenskaber blevet studeret grundigt, både teoretisk og eksperimentelt,

pga. deres afgørende betydning for praktiske anvendelser af superledere.

Er superledere virkelig superledende?

Efter den første opdagelse i kviksølv i 1911, er superledning blevet observeret i mange andre grundstoffer og legeringer. I mange år var den praktiske anvendelse af superledere hovedsagelig begrænset til konstruktionen af meget kraftige magneter, men siden opdagelsen af de keramiske højtemperatur-superledere i 1986 har der været forsket intenst i deres udnyttelse i f.eks. transmissionslinier. Og her har tilstedeværelsen af hvirvler vist sig at være et tveægget sværd. På den ene side er de grundlaget for de meget høje kritiske felter i type-II superledere. På den anden side vil en transportstrøm give anledning til en transversal kraft på de samme hvirvler, som – hvis de kommer i bevægelse – vil føre til dissipation selv i den superledende tilstand. Eksistensen af et stift hvirvelgitter hjælper dog, idet det kan fikses ved blot at fastholde nogle få hvirvler ved hjælp af f.eks. urenheder. Problemet for højtemperatur-superlederne er, at den termiske energi ved de højere temperaturer fører til at hvirvelgitteret smelter, og med mindre hver enkelt hvirvel fastholdes separat vil dette uundgåeligt føre til et elektrisk tab. Det er klart, at skulle man en dag finde frem til en stuetemperatur-superleder vil denne problematik blive endnu mere udtalt.

Leggett og flydende helium

Flydende helium er en helt igennem menneskeskabt substans. Der findes kun meget lidt af dette næstletteste grundstof i vores del af naturen (i hele Universet derimod er cirka 20% af alt kendt stof i form af heliumkerner – de såkaldte α -partikler), og det kræver menneskelig indgriben at samle så store mængder, at man har nok til en liter væske. Helium kommer dog først på væskeform, hvis man køler den ned til $-268,9^\circ\text{C}$, eller 4,2 Kelvin. Køler man yderligere ned i den henseende til at fryse væsken til et fast stof, bliver man overrasket, idet det aldrig sker – i hvert fald ikke uden at trykke kraftigt på væsken. Dette skyldes, at heliumatomerne er så lette, at nulpunktsbevægelserne, som ifølge kvantemekanikken altid findes, er for kraftige. I stedet bliver væsken *superflydende* under 2,18 K. Dybest set skyldes det, at almindelige heliumatomer (dvs. α -partikel + 2 elektroner = 2 protoner + 2 neutron + 2 elektroner) er såkaldte *bosoner*. En gas af bosoner har den helt specielle egenskab, at partiklerne i gassen foretrækker at samle sig i én bestemt kvantetilstand – de bosekondenserer. Dette kvantemekaniske fænomen blev først beskrevet af Einstein. Der findes imidlertid en anden heliumisotop, ^3He , hvor kernen ikke er en α -partikel, men derimod en partikel bestående af 2 protoner og kun 1 neutron. Sådanne heliumatomer er ikke bosoner, men derimod *fermioner*, der er partikler, som i lighed med elektroner skal opfylde Pauli-princippet. Dette kvante-

mekaniske princip, har som konsekvens, at der ikke kan være mere end én partikel i hver kvantetilstand, hvilket naturligvis totalt udelukker simpel Bose-kondensation, som beskrevet af Einstein. Og ganske rigtigt: hvis man møjsommeligt samler en væske kun af ^3He atomer, så hverken fryser den eller bliver superflydende. I hvert fald ikke med mindre man køler ned til under den ekstremt lave temperatur 2,7 milliKelvin. Situationen i ^3He minder på visse punkter om situationen i en superleder, hvor man også har en gas af fermioner (elektroner), der først bliver superledende ved en temperatur, der er meget lavere end den temperatur, hvor gassen fortættes. I begge tilfælde er forklaringen, at fermionerne ved lave temperaturer kan danne par – de såkaldte *Cooperpar*. Cooperpar er igen bosoner, og de kan bosekondensere, hvilket for elektronernes vedkommende giver superledning og for ^3He atomerne giver superfluiditet.

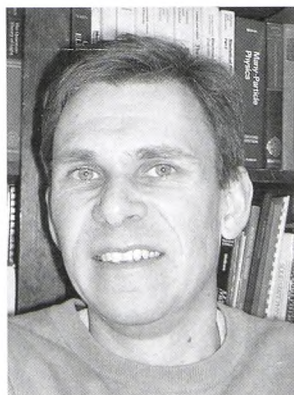
Cooperparrene i en superleder er forholdsvis kedelige. De er som små billardkugler uden indre struktur. Ganske vist er en enkelt elektron en lille magnet, men de to elektroner i parret har deres magnetiske poler modsat rettede, så parret som sådan er umagnetisk. Tilsvarende er det relative impulsmoment elektronerne imellem lig med nul, så det er meningsløst at tale om orienteringen af baneplanen, hvori de to elektroner bevæger sig. Tony Leggett kom med de afgørende bidrag til erkendelsen af, at Cooperparrene i superflydende ^3He er anderledes interessante og komplekse. Et ^3He atom er også en lille magnet, og atomerne i Cooperparret har de magnetiske poler til at pege i samme retning, så Cooperparret er i sig selv en lille magnet. Tilsvarende har atomerne i parret et relativt impulsmoment, og det giver mening at tale om en baneplan. Dette baneplan er defineret ud fra en normalvektor hertil, så alt i alt beskrives et Cooperpar i ^3He med to vektorer: en magnetisk vektor og en baneplan-normal. Denne erkendelse rummer nøglen til forståelsen af det noget rigere fasediagram for superflydende ^3He . De forskellige faser er nemlig karakteriserede ved forskellige relative orienteringer af de to nævnte vektorer.

I de senere år er Tony Leggett mest kendt for sin stædige insisteren på, at grænserne for kvanteteorien faktisk ikke er velkendte. For eksempel ved vi, at kvantemekanikken gælder for atomare systemer, men hvad er egentlig evidensen for, at den gælder for mere makroskopiske systemer? Man siger ofte, at superledning er et makroskopisk kvantefænomen, men i virkeligheden er fænomenet bare en "forstærkning" af et mikroskopisk. Hvis et enkelt Cooperpar er i en bestemt kvantetilstand, ψ , så vil alle de øvrige Cooperpar være i samme tilstand, pga. at de bosekondensere. Symbolsk kan man skrive at den samlede tilstand er ψ^N , hvor N er et makroskopisk antal par. Herved får tilstanden ψ en makroskopisk betydning. De egentlige kvantefænomener, såsom interferens, manifesterer sig, hvis tilstanden kan fås som en superposition af flere tilstande: $\psi = \psi_1 + \psi_2$ (dette lader sig f.eks. realisere i superledere i en såkaldt Josephson-kontakt),

hvorved den samlede tilstand bliver $(\psi_1 + \psi_2)^N$. Dette vil Leggett ikke kalde makroskopisk kvantemekanik, idet interferensen, dvs. superpositionen foregår nede på mikroskopisk niveau og forstærkes derefter. Egentlig makroskopisk kvantemekanik opnås først, hvis man har interferens mellem to forskellige makroskopiske tilstande, dvs. hvis man har en tilstand som kan skrives $\psi_1^N + \psi_2^N$. En sådan situation er meget vanskeligere at studere eksperimentelt. Faktisk er grænsen for, hvor store systemer, karakteriseret ved tallet N , der er testet for kvanteeffekter, øget betydeligt de senere år. F.eks. ved observation af såkaldte Bloch oscillationer i ovennævnte Josephsonkontakter. Hele denne udvikling har Leggett stået fadder til.

Referencer:

- [1] V. L. Ginzburg og L. D. Landau (1950) *Zh.Eksp.-Teor.Fiz.*, bind **20**, side 1064.
- [2] A. A. Abrikosov (1957) "On the Magnetic Properties of Superconductors of the Second Group", *Zh.Eksp.-Teor.Fiz.*, bind **32**, side 1442. [Engelsk: *Sov.Phys. JETP*, bind **5**, side 1174 (1957)].
- [3] P. Hedegård (1991) "Forenede elektroner A/S: Om superledning og kvanteteori", Munksgaard (København); <http://www.fys.ku.dk/Nysyn>.
- [4] Se f.eks. M. R. Eskildsen og N. H. Andersen (2000) "Eksotiske hvirvler – Fluxliniegitteret i magnetiske superledere", *Kvant*, bind **11**(4), side 3.



Morten Ring Eskildsen er assistant professor ved University of Notre Dame (USA). Han studerer superledende hvirvler ved hjælp af scanning tunneling spektroskopi og småvinkel neutronspredning.



Per Hedegård er lektor og vicedirektør ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

I forhold til hvad roterer Jorden?

Jens Martin Knudsen, Center for Planetforskning, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik, og Poul G. Hjorth, Matematisk Institut, Danmarks Tekniske Universitet.

I dag tager vi det for givet, at den daglige bevægelse af Solen og stjernerne henover himlen er forårsaget, ikke af en rotation af himmelkuglen, men af en rotation af Jorden. Denne indsigt fører imidlertid til spørgsmål som: Giver det fysisk mening at sige, at Jorden roterer i forhold til "det absolutte rum"? Eller: Skal Jordens rotation alene refereres til universets fjerne masser, "fix-stjernerne"? Svarene på sådanne spørgsmål er langt fra simple.

Problemet om Jordens rotation, eller mere alment, problemet om relativ eller absolut bevægelse, er tæt knyttet til det fundamentale spørgsmål: Hvad er et inertialsystem? Dette er måske det vigtigste spørgsmål overhovedet i videnskaben om bevægelsens natur. Alt for ofte præsenteres studerende i de indledende kurser for følgende definitioner: Inertiens lov gælder kun i inertialsystemer. Inertialsystemer er de systemer, hvor inertiens lov gælder. Vi skylder de studerende et bedre svar, også selv om svaret ikke er simpelt.

Før sådanne spørgsmål er afklarede, er en forståelse af den Newtonske mekanik en umulighed. Spørgsmålet om relativ eller absolut bevægelse må derfor nødvendigvis have en central plads i ethvert universitetskursus i mekanisk fysik, også – og måske netop særligt – i det indledende kursus.

Mekanikkens Relativitetsprincip

Problemerne vedrørende rotation går tilbage til publikationen af Newton's bevægelseslove (1687). Så snart disse love er fremsat – specielt Newton's 2. lov – står man overfor spørgsmålet: *I forhold til hvilket henførelsessystem skal man måle accelerationen af et givet legeme?* Uden et klart svar på dette enkle spørgsmål har Newton's 2. lov intet indhold.

Det er vigtigt at gøre sig klart, at mekanikkens relativitetsprincip er indbygget i Newton's bevægelseslove. Newton's love indeholder ingen henvisning til begrebet absolut hvile. Jævn bevægelse langs en ret linie og begrebet hvile er fuldstændigt sidestillede. Matematik: Newton's 2. lov er invariant under en Galilei transformation.

Man kan spille tennis om bord på et sejlende skib. Så længe skibet bevæger sig med konstant fart langs en ret linie, følger bolden de samme regler som på land. Omvendt: Man kan ikke drage nogen form for konklusioner om skibets (jævne) bevægelse ved at studere boldens bevægelse i forhold til skibet.

Bevægelse med konstant hastighed er relativ, d.v.s. jævn bevægelse kan kun konstateres ved at sammenligne det givne legeme (skibet) med et andet

materielt legeme (kysten). Allerede Galileo Galilei (1564–1642) havde hæftet sig ved dette for dynamiske fænomener så fundamentale princip.

Mekanikkens relativitetsprincip bevirker således, at vi må forlade den ide, at et legeme "har en given hastighed gennem rummet". Det tomme rum har intet orienteringspunkt, i forhold til hvilket en jævn hastighed kan tilskrives nogen absolut værdi.

Når man undersøger bevægelser, der *ikke* er jævne, stiller sagen sig imidlertid helt anderledes.



Begreberne kraft og inert

Newton indførte begreberne *kraft* og *inerti* i bevægelseslæren. Begreberne har været meget diskuteret, siden de blev indført. Her nøjes vi med følgende bemærkninger.

Et væsentligt træk ved begrebet kraft er følgende:

En kraft, der virker på et givet legeme A, har sin oprindelse i et andet materielt legeme B. Kraften på legemet A forårsages af det materielle legeme B. Newton's 2. lov kan således ikke – som det undertiden har været hævdet – betragtes som en definition af kraft. Kraften skal være givet ved et af Newton's 2. lov uafhængigt udtryk. Velkendte eksempler er gravitation-sloven og Lorentzkraften. Angående inertie: Materielle legemer besidder inertiell masse. Den inertielle masse viser sig ved, at legemet gør modstand mod at ændre sin bevægelsestilstand, i.e. legemet gør modstand mod at blive accelereret. Men: Accelereret i forhold til hvad? Newton gav et klart svar.

Det absolutte rum

Medens jævn, retlinet bevægelse er relativ, drog Newton den konklusion, at ikke-jævn bevægelse er absolut, d.v.s. at en *ikke-jævn bevægelse kan konstateres uden at sammenligne det pågældende legeme med andre materielle legemer*.

Newton indførte i sin beskrivelse af bevægelsen begrebet "absolut rum" med de berømte ord fra "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica":

Absolute Space, in its own nature, without relation to anything external, remains always similar and immovable. Relative Space is some movable dimension or measure of the absolute spaces; which our senses determine, by its position to bodies; and which is vulgarly taken for immovable space... [Andrew Motte's oversættelse fra Latin (1729)].

Især ordene "without relation to anything external" har været stærkt kritiseret: Det absolutte rum kontrollerer åbenbart de mekaniske fænomener, medens rummet omvendt ikke influeres af disse fænomener. Løst sagt: Det absolutte rum virker, men kan ikke påvirkes! Newton havde imidlertid sine grunde til at indføre "det absolutte rum".

Så snart bevægelseslovene var opstillet, stod Newton nemlig overfor det afgørende problem at finde et henførelsessystem, i hvilket inertiens lov (første lov) og 2. lov skulle gælde. Hvis Newton eksempelvis havde valgt Solen som reference, var problemet måske blot blevet udsat. Muligvis ville man en dag finde, at også Solen bevægede sig.

Newton nåede frem til den opfattelse, at et henførelsessystem bestemt af materielle legemer aldrig kunne danne grundlaget for så fundamentale fysiske love som bevægelseslovene. Newton valgte i stedet at postulere et "absolut rum", som den "scene", hvorpå alle mekaniske fænomener udspilles.

Men allerede mekanikkens relativitetsprincip skaber problemer for begrebet det absolutte rum. Hvis een iagttager hævder, at en partikel er i hvile i forhold til det absolutte rum, vil en anden iagttager med lige så

stor ret kunne hævde, at partiklen bevæger sig med jævn hastighed i forhold til det absolutte rum. Ingen mekaniske eksperimenter kan – ifølge mekanikkens relativitetsprincip – afgøre spørgsmålet.

Der findes heller ingen fysiske eksperimenter, ved hvilke man kan bestemme et punkt i det absolutte rum, og senere genfinde dette punkt.

På den baggrund kan man spørge: Hvad bliver der tilbage af Newton's absolutte rum? Newton's svar er: Den modstand alle materielle legemer yder mod at blive accelereret, må interpreteres som en virkning af det absolutte rum. En ændring af et materielt legemes *hastighed* i forhold til det absolutte rum kræver en kraft. Vi kan således, siger Newton, uden at referere til andre legemer, registrere virkningen af det absolutte rum gennem den modstand et materielt legeme gør mod acceleration.

Som støtte for sin opfattelse af accelerationens absolutte natur fremførte Newton bl.a. det berømte eksperiment med den roterende spand. Selvom dette eksperiment er beskrevet så mange gange før, tillader vi os kort at gengive visse aspekter af sagen.

En spand indeholdende vand er ophængt i et reb. Rebet bliver nu snoet og derefter frigøres spanden. Spanden begynder da at rotere. Til at begynde med er vandets overflade vandret. Efterhånden overføres spandens bevægelse – via gnidningskræfter – til vandet. Såvel spanden som vandet roterer nu, ifølge Newton, i forhold til det absolutte rum. I det henførelsessystem, hvor vandet er i hvile, optræder der, ifølge Newton, to kræfter: Gravitationskraften fra Jorden, og den fiktive kraft, centrifugalkraften. Balancen mellem tyngdekraft og centrifugalkraft medfører at vandoverfladen antager en konkav form (paraboloide). Hvis man herefter standser spandens rotation, vil vandet fortsat rotere et stykke tid. Og mens vandet roterer er overfladen stadig konkav. En iagttager kan således konstatere om vandet roterer i forhold til det absolutte rum ved simpelthen at undersøge vandoverfladens form. Uden at sammenligne vandet med andre materielle legemer, kan man altså konstatere, at vandet roterer i forhold til det absolutte rum.

Bemærk: Den fiktive kraft, centrifugalkraften, der optræder i vandets hvilesystem, kan ikke på indlysende måde føres tilbage til noget materielt legeme. Den fiktive kraft optræder – stadig ifølge Newton – fordi henførelsessystemet er i rotation i forhold til det absolutte rum.

Man kan let overbevise sig om, at overfladens form ikke kan skyldes den relative bevægelse af spand og vand: I den første del af eksperimentet er spand og vand i relativ bevægelse, og vandoverfladen er plan. I den sidste del af eksperimentet er spand og vand ligeledes i relativ bevægelse, og vandoverfladen er konkav.

Vandoverfladens form synes således at skyldes vandets absolutte bevægelse, i.e., dets bevægelse i forhold til det absolutte rum. I den newtonske opfattelse er vandoverfladen plan, når vandet er i hvile i forhold til det

absolutte rum.

Det er imidlertid vigtigt at bemærke, at man altid finder at vandoverfladen er plan, når vandet synes at være i hvile i forhold til fixstjernerne (universets fjerne masser). Det absolutte rum forekommer altså – ejendommeligt nok – at være sammenfaldende med det henførelsessystem, i hvilket de fjerne stjerner synes at være i hvile.

Mach's princip

På trods af den Newtonske mekaniks enorme succes blev problemet om det absolutte rum, og det hertil hørende problem om absolut rotation, ved at trænge sig på.

Ernst Mach (1838-1916) foreslog en løsning.

En mand er – på en mørk, skyfri aften – i hvile på en stor vandret skive, der kan rotere (en karrusel). Hvis skiven sættes i rotation, vil manden – i skivens hvilesystem – mærke centrifugalkraften. Manden vil kunne konstatere følgende: Hvis de fjerne stjerner roterer i forhold til ham, føler han en centrifugalkraft. Når stjernerne standser, forsvinder centrifugalkraften.

En iagttager, som er i hvile i forhold til den roterende spand, vil også finde fiktive kræfter, der virker når spanden roterer. Denne iagttager vil kunne konstatere, at han observerer en centrifugalkraft, når han ser stjernerne rotere i forhold til vandet.

Når stjernerne standser, standser centrifugalkraften.

Mach konkluderede: Stjernerne er årsag til centrifugalkraften.

Årsagen til centrifugalkræfterne – og mere alment til hele inertibegrebet – skal altså søges, ikke i en virkning af noget "absolut rum", men i en virkning af de materielle legemer (stjernerne) i hele kosmos. De fiktive kræfters oprindelse er således ført tilbage til andre materielle legemer! Ifølge Mach: Hvis materien i Universet (stjerner, galakser) forsvandt, ville genstandene, der omgiver os, tabe deres inertie.

Den ide, at de fiktive kræfter (og materielle legemers inertie) på én eller anden måde skyldes vekselvirkning med Universets fjerne masser kaldes jern Mach's princip.

Ifølge Mach har vi altså ikke nogen absolut rotation. Når vi taler om rotation, siger Mach, mener vi rotation i forhold til de fjerne masser. Jorden roterer – ikke i forhold til det absolutte rum – men i forhold til de fjerne stjerner. Én eller anden indflydelse fra stjernerne skaber centrifugalkraften.

Al bevægelse (ikke blot jævn bevægelse) er – ifølge denne opfattelse – relativ.

Newton's og Mach's divergerende opfattelser af den dynamiske årsag til Jordens form, kan formuleres i følgende konstateringer:

- Newton: Jorden har form af en rotationselipsoide, fordi planeten roterer i forhold til det absolutte rum.

- Mach: Jorden har form af en rotationselipsoide, fordi planeten roterer i forhold til universets fjerne masser.

Af indlysende grunde kan man ikke ved direkte eksperimenter afgøre sagen! Og derfor er problemet ikke løst med sikkerhed.

Newton var overbevist om, at rotation er en absolut bevægelse. Uden at sammenligne Jorden med andre materielle legemer kan man – ifølge Newton – konstatere at Jorden roterer. Opskriften er enkel: Mål afstanden fra pol til ækvator. Mål derefter Jordens omkreds ved ækvator og divider denne omkreds med tallet 4. Ved at udnytte de to måleresultater vil man kunne konstatere, at afstanden fra Jordcentret til Nordpolen er mindre end afstanden fra Jordcentret til et punkt på ækvator. Ud fra dette resultat vil Newton slutte, at Jorden roterer i forhold til det absolutte rum. I det henførelsessystem, hvor Jorden er i hvile, har centrifugalkraften – den fiktive kraft – drevet Jordens masser bort fra omdrejningsaksen. Herved har Jorden fået sin fladtrykte form. Hvis det var stjernerne, der roterede i forhold til det absolutte rum, og Jorden var i hvile i rummet, ville Jorden – ifølge Newton – forblive kugleformet.

Ifølge Mach derimod, ville Jorden antage form af en ellipsoide i begge tilfælde, thi ifølge den Mach'ske opfattelse, er det kun den relative bevægelse af stjernerne og Jorden, der er af en betydning for Jordens form. Stjernerne er årsag til centrifugalkraften.

Det afgørende problem for tilhængere af Mach's princip er at afklare, hvorledes et accelereret legeme influeres af materielle legemer mange lysår borte. For eksempel: Den centrifugalkraft, der optræder i henførelsessystemer, der roterer i forhold til stjernerne, skal på én eller anden måde henføres til "det træk, som de fjerne galakser åbenbart udøver på legemet". Kun én kendt naturkraft er i stand til at gøre dette: Gravitation. Det ville føre for vidt at uddybe denne problemstilling.

Vi nøjes med følgende betragtninger:

Einstein var påvirket af Mach's ideer og håbede at disse ville blive afklaret i den generelle relativitetsteori. Denne teori kom imidlertid i sin færdige form til at indeholde aspekter fra både Newton's og Mach's opfattelser. Det er, i den generelle relativitetsteori, i allerhøjeste grad det omgivende rum (mere præcist: rum-tid) der, ud fra sin geometri, bestemmer mekaniske fænomener. I den forstand bevares aspekter af Newton's absolutte rum. På den anden side, optræder der i den generelle relativitetsteori inertielle effekter, som falder mere i tråd med Mach's ideer end med Newton's. For eksempel vil en stor masse i rotation dreje gyroskoper i sin nærhed, og således gennem sin rotation påvirke den lokale definition af et inertialsystem. Der planlægges for tiden eksperimenter for at måle denne effekt ("dragging of inertial frames"). Se f.eks. beskrivelsen i reference 2.

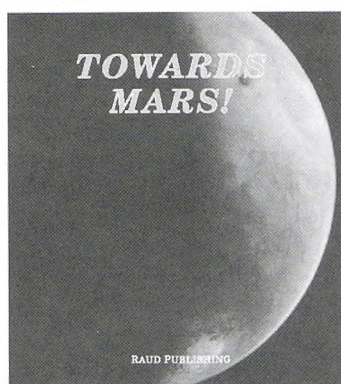
Konklusion

I indledende kurser i mekanisk fysik anvender vi nødvendigvis visse simplifikationer, og ofte sætter vi lid til intuitionen. Eksempelvis beskriver vi rotationen af Jorden ved hjælp af "rotationsvektoren" ω , endskønt vi erkender, at de tre komponenter af ω ikke udgør en vektor, men er komponenter i en antisymmetrisk tensor. Men den intuitive opfattelse af ω som en sædvanlig vektor er af stor praktisk værdi. Vi kunne nævne andre eksempler.

Derimod mener vi – som nævnt i indledningen – at den, til tider benyttede, "intuitive" beskrivelse af begrebet inertialsystem kun fører til forvirring, og i hvert fald slet ikke til nogen solid forståelse af den Newton'ske mekanik. Man bør, straks fra starten, stille det klare og enkle spørgsmål:

I forhold til hvilket henførelsessystem skal man måle accelerationer?

En dybere analyse af problemstillingen end her er givet – og en analyse der er fuldt tilgængelig for første semester studerende – kan man finde i bogen "Elements of Newtonian Mechanics". Se reference 3.



TOWARDS MARS! -book

A up-to-date information package about the study and the facts of planet Mars, created by 35 top Mars researchers from the USA, Japan and Europe. World-leading experts on Mars – most of authors are members of the *International Mars Exploration Working Group* – present in this unique work the strategy up to year 2011. The book contains illustrations from the USA, Russia, Kazakhstan, Japan, Europe and China.

European *Mars Express* mission with *Beagle II* are well documented in the book.

The *Journal of the British Astronomical Association*, June 2003: "... *Towards Mars!* is intended for a general readership, but BAA members and amateur astronomers generally will find plenty of depth too, especially those interested in instrumentation or exploration. The book is visually very striking. It has distinct flavour of its own ..."

Make your order by E-mail today or ask your bookseller.

RAUD PUBLISHING

Albertinkatu 17, FIN-00120 Helsinki, Finland

Phone & fax +358 - 9 - 2609 685

E-mail: raud@raudpublishing.com

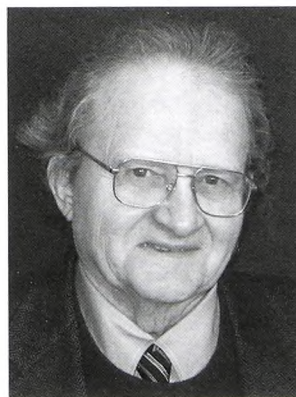
www.raudpublishing.com

Det er blevet sagt at bogen indeholder "udflugter i fysikkens historie". Nuvel! Men det er "udflugter" til Newton's Galilei's, Mach's og Einstein's ideer og tanker, om det stadig ikke klarlagte problem i den mekaniske fysik:

*Er accelereret bevægelse
absolut eller relativ?*

Referencer:

- [1] Julian B. Barbour: (1989) "Absolute or Relative Motion?" (Vol. I), *Cambridge University Press*.
- [2] Julian Schwinger (1986) "Einstein's Legacy", *Scientific American Books*.
- [3] J. M. Knudsen og P. G. Hjorth (1996) "Elements of Newtonian Mechanics" (2. ed.), *Springer Verlag*



Jens Martin Knudsen er lektor ved Center for Planetforskning og adjungeret professor i planetfysik ved Aarhus Universitet.



Poul G. Hjorth er lektor ved Matematisk Institut, Danmarks Tekniske Universitet.

Dette minimum var sammenfaldende med "den lille istid", hvor Jorden gennemgik en usædvanlig kold periode. Sammenhængen mellem Solens aktivitet og Jordens klima er et aktivt forskningsområde bl.a. på Dansk Rumforskningsinstitut.

Vi har således observationer af Solens aktivitet gennem de sidste 400 år, og det har vist sig, at aktiviteten bl.a. varierer med en meget karakteristisk periode på ca. 11 år, således at der ca. hvert 11. år er mange solpletter. Aktiviteten kan udtrykkes ved *solplettallet*, R , der dog ikke direkte er antallet af solpletter, men en størrelse, der beregnes ud fra formlen:

$$R = k \times (10 \times g + s), \quad (1)$$

hvor g er antallet af solpletgrupper, s er det samlede antal pletter i alle grupper og k er en konstant, der angiver observationernes "effektivitet". Denne konstant er et tal mellem 0 og 1.

Hvis der på Solen er fem grupper ($g = 5$), det samlede antal pletter i disse grupper er 87 ($s = 87$) og observationernes effektivitet vurderes til at være 86% ($k = 0,86$), så finder man et solplettal på $R = 0,86 \times (10 \times 5 + 87) = 118$. Omkring maksimum er solplettallet, R , typisk omkring 200, mens det under solpletminimum er tæt på 0.

Hver gang en solpletgruppe dukker op på solskiven tildeles den et nummer i en fortløbende række. Solpletgruppen, der udløste rekord-udbruddet den 4. november, betegnes således nr. 486. Denne nummerering blev påbegyndt i 1972, og har siden rundet 10.000. Normalt udelades dog de første to cifre således, at 486 i virkeligheden er nr. 10.486. Grupperne betegnes også AR for "Active Region" – f.eks. AR486.

Udbruddenes effekt på Jorden afhænger meget af, om eventuelt udslynget materiale har retning mod Jorden eller ej. Således fandt det gigantiske udbrud den 4. november sted lige da AR486 var ved at forsvinde ved Solens vestlige rand. Udkastet materiale fra udbruddet havde således ikke retning direkte mod Jorden og skabte kun beskedne forstyrrelser i Jordens magnetfelt.

Solpletterne følger Solens rotation, og da Solen ved ækvator har en omløbstid på ca. 25 dage, dukkede gruppen igen frem ved Solens østlige rand knapt to uger senere – omkring den 20. november. Når solpletgrupper på denne måde dukker op igen opstår der gerne lidt forvirring omkring nummereringen, fordi man ikke holder fast i det oprindelige nummer, men tildeler et nyt. AR486 kendes således også som AR508. Levetiden af solpletterne kan variere fra få timer og til flere måneder og meget tyder på, at AR488 (a.k.a. AR507) igen dukker frem på solskiven i slutningen af december, hvor den så igen vil få et nyt nummer.

Boks 1. Afstanden til Solen

Da Jordens bane om Solen har form som en ellipse, varierer afstanden mellem de to himmellegemer. Den er mindst i begyndelsen af januar (147,1 mio. km) og størst i begyndelsen af juli (152,1 mio. km).

Middelfaststanden er 149,6 mio. km. Denne afstand kaldes også en 'Astronomisk Enhed' (forkortes AU efter den engelske betegnelse 'Astronomical Unit') og bruges til at angive afstande i rummet.

Forskellen på fem mio. km mellem januar og juli er årsag til, at det sollys vi modtager i juli er omkring 7% mindre intenst end i januar. For os der bor på den nordlige halvkugle er Solen således længst væk om sommeren, altså når vi har det varmest.

Årstiderne bestemmes imidlertid hovedsageligt af jordaksens hældning på 23,5° i forhold til Jordens bane omkring Solen. Når det er sommer på den nordlige halvkugle, hælder jordaksen mod Solen, således at solstrålerne falder mere stejlt på den nordlige halvkugle (Solen står højere på himlen) og dermed varmer mere effektivt.

Et halvt år senere er den modsatte situation aktuell og det er sommer på den sydlige halvkugle. Selvom sollyset er 7% mindre intensivt, når vi har sommer nordpå, har vi alligevel i gennemsnit varmere somre end på den sydlige halvkugle. Det skyldes, at den nordlige halvkugle er mere dækket af landjord, som er lettere at opvarme end oceanerne.

Jordens afstand fra Solen betyder, at strålingen fra et soludbrud kan ses godt 8 minutter efter eksplosionen, mens de mest energirige partikler ankommer 10-15 minutter senere.

Soludbrud

At der kan samles så store energimængder i magnetfeltet omkring de store solpletgrupper skyldes populært sagt lokale sammensnøringer af magnetfeltet. Magnetfelterne frembringes af elektriske strømme, som dannes ved bevægelsen af Solens varme, ioniserede gasser. Magnetfelterne kan sammenlignes med elastikker, som kan strækkes, snoes og foldes omkring sig selv. Derved ophobes enorme mængder energi, der – nærmest som en spændt elastik – kan udløses i de voldsomme soludbrud, der også betegnes med det engelske udtryk "flares". Den enorme energi, der frigives, kommer ud i form af elektromagnetisk stråling (gamma- og røntgenstråling), energetiske partikler (elektroner og protoner) samt masseudkastninger.

Flares inddeles i forskellige klasser afhængigt af, hvor intens røntgenstråling de producerer. De svageste betegnes "B", de lidt kraftigere "C", moderat kraftige "M" og meget kraftige for "X". Desuden underinddeles

flares med tal fra 1-9 – f.eks. en M2-klasse flare.

Der findes ikke flere bogstaver i denne inddeling. Hvis en flare er kraftigere end X9 fortsættes inddelingen med tal (X10, X11, X12 osv). Således var den flare, der blev målt den 4. november, en X28-klasse begivenhed, mens det kraftigste udbrud indtil da var klassificeret som X20.

Store masseudkastninger

I forbindelse med flares opstår som nævnt ofte store udslyngninger af stof (op mod 1×10^{13} kg) kaldet "koronale masseudkastninger" (forkortes CME efter den engelske betegnelse "Coronal Mass Ejections").

Da masseudkastningerne kan give de voldsomme effekter på Jorden, er der stor interesse for at kunne forudsige, hvornår udslynget stof fra et soludbrud ankommer til Jorden. Udbruddene forlader typisk Solen med meget forskellige hastigheder, men typisk i intervallet 20–2.000 km/s. Med en model udviklet af forskere ved Catholic University of America og NASA's Goddard Space Flight Center er det muligt at forudsige ankomsten af det udslyngede stof med ca. 12 timers nøjagtighed.

Modellen anvender data fra den fælles ESA/NASA satellit SOHO samt NASA's WIND satellit, og ved hjælp af data fra tidligere satellitmissioner har man både fået bekræftet modellen og gjort den mere præcis.

Solvinden spiller ind

Problemet med at forudsige, hvornår udslynget stof fra et soludbrud når Jorden hænger i hovedsagen sammen med stoffets vekselvirkning med den konstante strøm af elektrisk ladede partikler fra Solen – den såkaldte solvind.

Allerede i 1859 havde Richard Carrington observeret, at der var sammenhæng mellem soludbrud og magnetiske storme på Jorden. Selvom han ikke kunne forklare hvorfor, var det et tidligt indicium på eksistensen af solvinden.

I begyndelsen af 1900-tallet havde den norske fysiker Kristian Birkeland den opfattelse, at nordlys kunne være udløst af en partikelstrøm fra Solen, men hans ideer blev ikke taget alvorligt. Samme skæbne overgik den tyske fysiker Ludwig Biermann, som for at forklare retningen på komethaler også antog, at der fandtes en partikelstrøm fra Solen. Astronomerne havde forinden bemærket, at kometernes haler ikke pegede præcist væk fra solen, men dannede en lille vinkel, og Biermann forklarede i 1951 den lille afbøjning som et resultat af en bevægelse af kometen i en strøm af partikler fra Solen. Begrebet "solvind" blev indført af Eugene Parker i 1959 samtidig med at han fremsatte en magnetisk-hydrodynamisk teori for at beskrive solvinden. Kort efter blev solvinden eksperimentelt påvist af sovjetiske og amerikanske rumsonder.

Den del af solvinden, der strømmer fra Solens ækvatorene, har i middel en hastighed på ca. 350 km/s.

Hvis en CME starter med en højere hastighed, vil den langsomt blive bremsed ned til solvindens hastighed, mens en masseudkastning, der starter med en lavere hastighed vil blive accelereret op.

Boks 2. Solvinden – hastighed og tæthed

Udover det lys der kommer fra Solen, er der også en konstant strøm af elektrisk ladede partikler, som kaldes solvinden.

Denne partikelstrøm karakteriseres ved partiklernes hastighed og tætheden af partikler udtrykt som antallet af protoner pr. cm^3 . Under normale forhold har solvinden fra Solens ækvator en hastighed på ca. 350 km/s og en tæthed på to protoner pr. cm^3 . Ved Solens poler strømmer solvinden dog med en langt større hastighed (ca. 700-800 km/s).

I Solens meget varme atmosfære, koronaen, kan der pga. magnetiske forstyrrelser opstå huller, hvorfra strømmen af partikler er meget hurtigere. En sådan hurtig strøm af partikler vil indhente de partikler, der tidligere er blevet udsendt fra Solen og derved forårsage en ophobning af partikler, der i sidste ende danner en chok-bølge. Når en sådan bølge passerer Jorden, vil den påvirke Jordens magnetfelt med bl.a. øget chance for nordlys til følge.

Solvindens hastighed og tæthed måles bl.a. af den amerikanske satellit Advanced Composition Explorer (ACE), som befinder sig i en afstand på 1,5 mio. km fra Jorden i retning mod Solen i en bane omkring ét af de såkaldte Lagrange-punkter (særligt stabile punkter i Solens og Jordens fælles tyngdefelt).

Forstyrrelser i Jordens magnetfelt kan beskrives med et K_p -indeks, der med et tal mellem 0 og 9 angiver, hvor meget den vandrette del af Jordens magnetfelt er forstyrret. F.eks. betyder et K_p -indeks på 4 en aktiv storm, $K_p=5$ betegner en mindre storm og værdier herover en kraftig storm. Chansen for at se nordlys øges derfor med K_p -indekset.

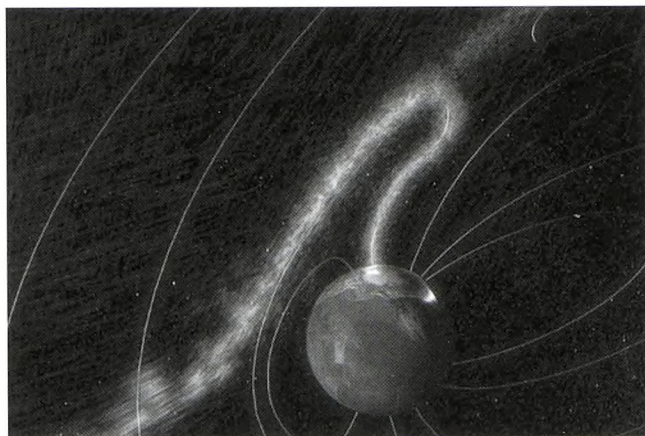
Jordens magnetfelt

Jordens magnetfelt virker som en beskyttende skærm mod solvinden. Området omkring Jorden, hvori Jordens magnetfelt dominerer, kaldes Jordens magnetosfære, og styrken er normalt tilstrækkelig stor til at den kan holde solvinden i en afstand af ca. ti jordradier på "vindsiden" – dvs. den side af Jorden, der vender mod Solen og altså ligger i dagslys. På den modsatte side strækker Jordens magnetfelt sig langt ud i en hale, hvor partikeltætheden er lav. Grænsen mellem magnetosfæren og solvinden kaldes magnetopausen, og på grund af de høje hastigheder i solvinden, giver kollisionen mellem solvinden og magnetosfæren anledning til en

chokbølge i solvinden.

Når Jordens magnetfelt er uforstyrret, går de magnetiske feltlinier ubrudt fra Jordens magnetiske nordpol og til den magnetiske sydpol. Jordens magnetiske nordpol ligger i virkeligheden i Antarktis i nærheden af den geografiske sydpol, mens den magnetiske sydpol (som man af historiske årsager kalder for "magnetisk nord") ligger i nærheden af Grønland. I øvrigt er Jordens magnetfelt langt mere komplekst end en simpel dipol, således at en kompasnål ikke peger direkte mod magnetisk nord. Man kommer dog alligevel til dertil ved at følge kompasset, men ikke nødvendigvis ad den mest direkte vej. Da de magnetiske feltlinier går fra nordpol til sydpol betyder det, Jordens magnetfelt normalt er nordrettet.

Når Jordens magnetfelt kommer i kontakt med magnetfeltet fra solvinden kan der opstå områder, hvor de magnetiske feltlinier har modsat retning, og her kan feltlinierne "revne" og gendannes igen, således at ladede partikler i solvinden nu forbindes til områderne nær Jorden via den samme feltlinie. Allerede i 1961 foreslog Jim Dungey fra Imperial College i London, at det giver den største effekt, hvis magnetfeltet fra solvinden er rettet mod syd og altså modsat Jordens feltlinier. Resultatet af mødet mellem de to felter kan altså blive revner eller åbninger, hvorigennem solvindens partikler kan strømme og bindes til Jordens magnetfelt. Via elektromagnetisk vekselvirkning overføres solvindens kinetiske energi dermed til elektromagnetisk energi og varme i området omkring Jorden.



Figur 2. Revner i Jordens magnetfelt gør det muligt for energirige partikler fra Solen at strømme ind. Ill.: NASA.

At revnerne virkelig findes, blev første gang registreret i 1979 af satellitten International Sun Earth Explorer (ISEE). Da den imidlertid hurtigt fløj igennem revnerne, var det ikke muligt at sige noget om deres levetid, men nu har helt nye observationer med NASA's IMAGE satellit og ESA's Cluster mission (som består af fire identiske satellitter, der flyver i formation) afsløret, at store revner kan eksistere i adskillige timer.

IMAGE ("Imager for Magnetopause to Au-

rora Global Exploration") observerede et særligt nordlysfænomen, der kaldes "proton nordlys". Det opstår, når ioner rammer den øvre atmosfære og får den til at udsende ultraviolett lys, som ikke kan ses med øjet. Samtidig med at IMAGE observerede dette nordlys, passerede ESA's Cluster satellitter forbi. De kunne registrere, at der var en indstrømning af ioner, der hvor IMAGE kunne se det ultraviolette nordlys, og da det ultraviolette nordlys blev observeret i mere end ni timer, må revnen have været åben i samme tidsrum. Ud fra målingerne fra IMAGE og Cluster kan man vurdere, at revnen har været dobbelt så stor som Jorden ved yderkanten af magnetfeltet, mens den tæt på Jorden har haft en størrelse svarende til arealet af Sverige.

Solaktivitet i fortiden og fremtiden

På grund af solvinden strækker Solens indflydelse sig ud over et stort område – heliosfæren – som omslutter hele solsystemet. Det magnetiske felt, der følger med de ladede partikler i solvinden, beskytter solsystemets planeter mod indtrængen af ladede partikler fra det interstellare rum. Derimod vil støv, neutrale partikler, samt meget energirige kosmiske stråler trænge ind i heliosfæren. Kosmiske stråler er atomkerner samt elektroner, som formodentlig stammer fra supernovaeksplosioner i fjerne egne af vores galakse. Når de støder på magnetfeltet i heliosfæren mister de energi, mens de trænger ind i solsystemet. Det betyder, at intensiteten af de kosmiske stråler aftager ind mod Solen samt at intensiteten varierer med solens aktivitet, således at der er færre kosmiske partikler, der rammer Jorden, ved solmaksimum end ved solminimum.

De kosmiske partikler er ansvarlige for produktionen af radioaktive isotoper i Jordens atmosfære, bl.a. kulstof-14 og beryllium-10, og det betyder, at vi kan bestemme solaktiviteten i fortiden ved at se fordelingen af isotoperne i aflejringer, der kan tidsbestemmes, f.eks. iskerner, sedimenter eller drypsten. Nye analyser af sådanne tidsserier har vist, at Solen siden 1940 har været mere aktiv, end den har været i de forløbne 1.150 år, så vi lever i en tid med en meget usædvanlig Sol. Andre analyser af tidsserier, der strækker sig over mange tusinde år, har vist, at et betydeligt fald i solaktiviteten i stil med Maunder Minimum ser ud til at gentage sig med en periode på ca. 2.300 år, mens en noget mindre variation gentager sig med en periode på omkring 400 år. Maunder Minimum fandt som nævnt på bagsiden sted omkring år 1700, og 400 år tidligere – omkring år 1300 – observerer man det såkaldte Wolf Minimum. Den 400-årige periode er konsistent med oscillation i Solens konvektive zone, som har en periode på ca. 420 år, og hvis dette er korrekt, kan man forudsige, at Solens aktivitet vil aftage igen med et nyt minimum omkring år 2100.

Tiden vil vise, om denne forudsigelse holder stik, men indtil da skulle der fortsat være rigtig mange muligheder for flere flotte nordlysbilleder.

Nyt fra Dansk Geofysisk Forening

Dansk Geofysisk Forening

Hjemmeside: www.dgf.gf.ku.dk

Geofysisk Afdeling
Juliane Maries Vej 30
2100 København Ø
E-mail: dgf@gfy.ku.dk

Karen Guldbæk Schmidt (formand) (kgs@gfy.ku.dk)
Tlf: 35 32 05 22

Kristian Keller (formand) (krk@kms.dk)

Lennart Sorth (Lennart.Sorth@uni-c.dk)

Lars Stenseng (las@kms.dk)

Anders Svensson (kasserer) (as@gfy.ku.dk)

Geofysikdag 2003



Fra virksomhedsmessen.

Fredag den 31. oktober 2003 gentog DGF succesen fra sidste år og arrangerede igen Geofysikdag for alle studerende med interesse for geofysik. Arrangørerne var Dansk Geofysisk Forening i samarbejde med Geofysisk Afdeling, KU og Geofysisk Studenterforening, KU.

Programmet indeholdt studenterpræsentationer, postersession og virksomhedsmesse. Arrangementet var en store succes med over 120 deltagere, der var tilmeldt 110 til frokost i Beniaminos kantine på Rockefeller og 95 til aftenens middag i Kroghs Køkken på

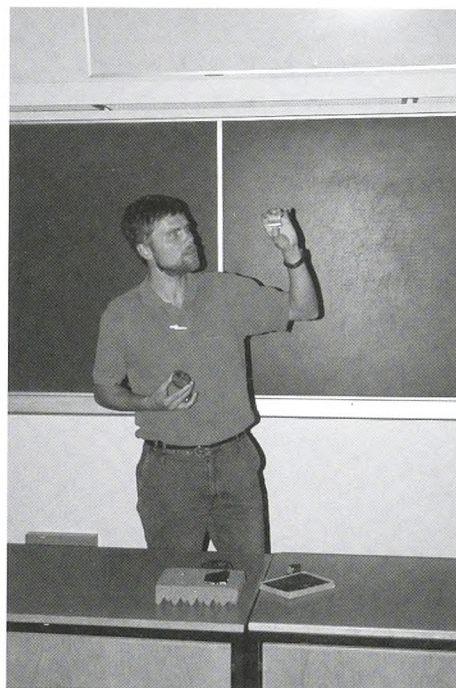
August Krogh Institutet.

De studerende kom fra KU, DTU, DMI og DMU, desværre havde folkene fra Århus travlt med diverse projekter og kunne ikke komme, men vi håber at se dem igen næste gang. Til virksomhedsmessen var der frafald på tre deltagere fra sidste år, men to nye er kommet til, og der var stort besøg til de flotte stande. Følgende virksomheder var repræsenteret: COWI A/S, Mærsk olie & Gas, RAMBØLL, Trimble, DONG, Danmarks Miljø Undersøgelser samt DMI med afdelingerne: Operationel Oceanografi, Vejtjenesten og Klimasektionen.

De bedste mundtlige præsentationer af henholdsvis en speciale- og en ph.d.-studerende samt den bedste posterpræsentation blev hver præmieret med et flot atlas. Der blev blandt samtlige deltagere der var til stede til aftenens foredrag og præmieuddelinger ligeledes trukket lod om en gave – en vejrkalender.

Aftenens festforedrag af Henning Haack fra Geologisk Museum havde titlen *Fra Grønlands Indlandsis til Solsystemets oprindelse* og var en meget spændende fortælling om nye opdagelser omkring datering af Solsystemets alder samt billeder og røverhistorier fra meteoritjagt på Grønland og Antarktis.

Dagen afsluttedes med en tur i Vulkan-fredagsbaren i studenterforeningen, hvor der var godt fyldt op og folk kunne snakke om dagens forløb på kryds og tværs.



Henning Haack fortæller røverhistorier.

Arrangørerne vil gerne takke de deltagende virksomheder for deres sponsorater af Geofysikdag 2003 – uden jeres støtte ville det ikke være muligt for os at gennemføre arrangementet.

Studerende fra Odense arrangerede fysikkonference

Christian Janfelt, Fysisk Institut, Syddansk Universitet.

I dagene 7.–13. august var Syddansk Universitet i Odense vært for ICPS2003 – *International Conference for Physics Students*. Konferencen, der i år var arrangeret af 11 fysikstuderende fra Syddansk Universitet, afholdes hvert år i et europæisk land og tiltrak i år 250 fysikstuderende fra 20 lande.

I løbet af den uge konferencen varede, var der arrangeret foredrag, poster-session, bytur i Odense, ekskursion til København og – ikke at forglemme – en række fester for deltagerne. Hovedindholdet i ICPS-konferencerne er foredrag af deltagerne – i år var der i alt ca. 45 foredrag – hvor de får mulighed for at præsentere deres forskning for en større gruppe af andre studerende. Desuden er der en række gæsteforedrag med fremtrædende fysikere, og valget i år var faldet på fysikere herhjemme fra. Ben Mottelson (NORDITA) talte om Bose-Einstein kondensater, og Ole G. Mouritsen (SDU) holdt et foredrag med titlen “Physics of Life – as a Matter of Fat”, der med udgangspunkt i lipid-erne omhandlede fysikkens betydning i fremtidens biologiske forskning. Eugene Polzik (NBI) holdt foredraget “Communicating the Unmeasurable” om kvantoptik, og Jens Martin Knudsen (Ørsted Lab.) fortalte om missionerne til Mars.

Hele mandagen var afsat til en ekskursion til København. Dagen startede med besøg på virksomheder og forskningsinstitutioner, og deltagerne var på forhånd delt ind i fem hold, der besøgte hhv. Risø, Niels Bohr Institutet, Mikroelektronik Centret, NKT Research og Haldor Topsøe. Derefter gik turen til centrum, hvor deltagerne fik mulighed for en havnerundfart eller en guidet tur i Christiania, inden dagen blev sluttet af med en aften i Tivoli.

De øvrige aftener var der arrangeret fester, bl.a. en grillfest og ikke mindst National Party, der typisk er et ICPS-konferencernes højdepunkter. Her stiller hver af de 20 deltagende nationer med mad og drikke fra deres hjemland, og senere på aftenen opføres også et lille show. At vejret hele ugen var 27 grader og solskin, hjalp selvfølgelig også på stemningen – deltagerne fra Sydeuropa, der kom lige fra en 40 grader varm sommer, syntes ligefrem, her var behageligt køligt.

På konferencens sidste dag blev der uddelt priser til bedste foredrag og bedste poster. Prisen for bedste poster gik til en planche, der på en underholdende måde lod Familien Simpsons forklare ekstra dimensioner i højenergifysikken – se den evt. på ICPS2003-hjemmesiden (adresse nederst i artiklen). Den efterfølgende afskedsfest var som sædvanlig præget af, at deltagerne har lært nye mennesker at kende og genopfrisket de gamle bekendtskaber. En stor del

af deltagerne er gengangere fra tidligere år, og ICPS-konferencerne er derfor også et hyggeligt møde med folk, de kun ser en gang om året.



ICPS-konferencen har de seneste år fundet sted i bl.a. Helsinki, Zadar (Kroatien) og Dublin. Sidste år blev den afholdt i Budapest i forbindelse med European Physical Society's EPS12-konference, og tilbage i 1995 blev den faktisk afholdt i København. I de følgende år tyndede det dog ud i deltagelsen fra København, mens Odense til gengæld stabiliserede sig med 20–25 deltagere hvert år (det har derfor været positivt i år med deltagere fra både København og Århus).

ICPS-konferencerne har stor betydning for de fysikstuderende i Odense, både på den faglige og den sociale front. Dels giver de et indtryk af forløbet af en videnskabelig konference samt mulighed for at træne foredrag og formidling, og dels skaber de kontakter på tværs af årgangene, idet der blandt de 20–25 danske deltagere er såvel 1.-års- som Ph.D.-studerende. Det var derfor i høj grad med tanke på at give noget igen, at en gruppe studerende fra Syddansk Universitet under ICPS2001 i Dublin valgte at påtage sig afholdelsen af ICPS2003, velvidende at der forude ventede to års hårdt planlægningsarbejde. At konferencen i dag et par måneder efter står tilbage som en overordentlig succes må tilskrives en blanding af held og hårdt arbejde fra arrangørerne og ikke mindst god opbakning fra sponsorerne, der bl.a. tæller en række fonde samt Syddansk Universitet og Mikroelektronik Centret.

Næste års ICPS2004 finder sted på University of Novi Sad i Serbien i dagene 12.–18. august 2004. Der er meget mere information om ICPS2003 (konferencehåndbogen, fotos etc.) at finde på hjemmesiden www.icps.sdu.dk, hvorfra der naturligvis også vil være et link til ICPS2004-hjemmesiden, så snart den foreligger.

Magnetiske dipoler og monopoler

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter.

I sidste nummer af KVANT bragte vi opgaven (nr. 14):

Når et stof med permanente atomare magnetiske dipolmomenter anbringes i feltet mellem polerne i en elektromagnet, forstærker ensretningen af dipolerne feltet. Hvad skulle vi forvente, hvis de atomare magnetiske dipoler skyldtes par af henholdsvis nordpols- og sydpols- magnetiske monopoler og ikke kredsende ladninger? Begrund svaret.

Her er så løsning og kommentarer til opgaven.

Hvis de atomare magnetiske dipoler skyldtes par af henholdsvis nordpols- og sydpols- magnetiske monopoler er situationen analog til den i et dielektrika mellem to kondensatorplader. Her vil det elektriske felts ensretning af de elektriske dipoler i dielektrikaet mellem kondensatorpladerne medføre en negativ resulterende overfladeladning på den side af dielektrikaet, som vender imod den positivt ladede kondensatorplade, og en positiv resulterende overfladeladning på den side af dielektrikaet, som vender imod den negativt ladede kondensatorplade. Det elektriske felt mellem kondensatorpladerne svækkes derfor, når der anbringes et dielektrika imellem dem. På samme måde skulle vi forvente, at magnetfeltet imellem polerne i en elektromagnet ville blive svækket, når vi udfylder mellemrummet imellem polerne med et stof med permanente atomare magnetiske dipolmomenter, hvis dipolmomenterne skyldtes par af magnetiske monopoler. Da magnetfeltet som sagt forstærkes, skyldes de atomare magnetiske dipolmomenter derfor ikke par af magnetiske monopoler.

Selvom de magnetiske fjernfelter fra en kredsende ladning og fra et par af magnetiske monopoler er ens, er nærferterne det ikke, men tværtimod modsatte. Og det er nærferterne, der er afgørende for, om magnetfeltet inden i det magnetiske materiale er større eller mindre end magnetfeltet imellem elektromagnetens poler før materialet blev skudt ind imellem polerne.

Kommentarer

1. Ifølge en vandreanekdote – som jeg husker den – skulle fysikeren og filosofen Ernst Mach (1838–1916) være besvime på grund af symmetribruddet, da han i sin ungdom for første gang ved Ørstedes forsøg med den strømførende ledning og kompasnålen så, at naturen i den helt højre- venstre- symmetriske forsøgsopstilling gjorde forskel på højre og venstre. Ernst Mach er også kendt for med sin antiontologiske opfattelse af naturen

så sent som i 1883 ikke at tillægge atomer anden eksistens end at være regnestørrelser.

Nu ved vi, at Ernst Mach ved at anskue magnetisme som en virkning af atomare kredsstrømme kunne være kommet sig hurtigt over sit symmetribrudschok. Enten bevæger de kredsende ladninger i kompasnålen sig imod højre, når de er nærmest den strømførende ledning, eller de bevæger sig imod venstre, når de er nærmest ledningen. Og deraf afhænger, til hvilken side kompasnålen slår ud.

Også breddeopgavens problem med magnetfeltsforstærkningen modsat svækkelsen af det elektriske felt i dielektrika peger imod de atomare kredsstrømme. Og det ser for mig ud til at være en lidt overset undervisningsmæssig pointe i lærebøgerne.

2. Opgaven er som breddeopgave betragtet atypisk. Den handler om en fysikintern problemstilling, som ikke kan formuleres i dagligdags sprog. I modsætning til den typiske breddeopgave, hvor den nøjere præcisering af opgavens problem i fysiske termer bliver et centralt punkt ved opgaveløsningen, er opgaven her derfor allerede formuleret i fysiktermer. Når den alligevel har været brugt som eksamensopgave skyldes det blandt andet et hensyn til efterfølgende at kunne inddrage dens pointe i undervisningen. Og den sikreste måde at tilvejebringe den mulighed på er, at opgaven indgår i samlingen af breddeeksamensopgaver. Som omtalt i tidligere artikler er breddemodulkurset i fysik på RUC tilrettelagt med samlingen af tidligere eksamensopgaver som vigtigste pejlemærke.

Vandstandsstigning og husopvarmning

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne overveje løsningerne til disse to opgaver (nr. 15, fra sommereksamen 1997, og nr. 16, fra vintereksamen 1977):

For at rense en brønd pumpes den tom for vand. Vandtilstrømningen til brønden kan ses at komme fra kilder nær ved bunden. Hvordan stiger vandstanden i brønden efter tømningen, som tiden går? Begrund svaret. og

Ved ankomsten til et koldt hus tændes elvarmepanelerne. Hvordan ændrer temperaturen sig i huset som funktion af tiden? Begrund svaret.

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer af bladet.

Nobelpris for magnetisk resonans billedannelse

Lise Vejby Søgaard, Danish Research Centre for Magnetic Resonance, MR afdelingen, Hvidovre Hospital.

Nobelprisen i medicin bliver i år tildelt kemikeren Paul C. Lauterbur og fysikeren Peter Mansfield for deres bidrag til udviklingen af magnetisk resonans billedannelse. Der har siden Lauterburs første billeder af to vandfyldte reagensglas [1] været en voldsom udvikling indenfor området, og der udføres i dag mere end 60 millioner MR skanninger årligt på ca. 22.000 skannere verden over.

Fra NMR til MR billedannelse

MR billedannelse er baseret på kernemagnetisk resonans. Placeres en kerne med et magnetisk moment i et magnetfelt vil den præcessere med en frekvens som er proportional med magnetfeltet (Larmorfrekvensen). Kernerne kan drejes ud af ligevægt ved påvirkning med radiobølger ved Larmorfrekvensen, og de vil tilsvarende udsende radiobølger under tilbagevenden til ligevægt. Dette fænomen kaldes kernemagnetisk resonans eller NMR for "nuclear magnetic resonance". Nobelprisen er tre gange tidligere givet til forskellige bidrag indenfor NMR: Fysikerne Bloch og Purcell fik Nobelprisen i fysik i 1952 for deres opdagelse og påvisning af NMR fænomenet, og Nobelprisen i kemi gik i 1991 til Ernst for udvikling af NMR-spektroskopiske metoder og igen sidste år til Wüthrich for udvikling af den NMR-spektroskopiske metode til bestemmelse af den tre-dimensionale struktur af biologiske makromolekyler i opløsning.

Bloch og Purcell gjorde deres opdagelse af NMR i 1946, og i de følgende mange år blev NMR udviklet og brugt indenfor fysik og kemi til analyse og karakterisering af molekyler.

Når kernerne efter påvirkning med radiobølger returnerer til ligevægt, sker det med en karakteristisk relaxations-tid, T_1 . I 1971 påviste Raymond Damadian, at relaxations-tiderne for kræftsvulster var forskellig fra dem man fandt i sundt væv [2]. Dette var den første påvisning af, at NMR kunne bruges til at diagnosticere sygdom.

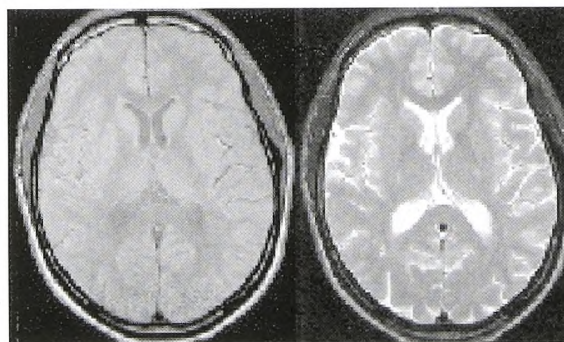
Det store gennembrud for MR billedannelse kom i 1973, hvor Lauterbur i Nature publicerede et billede af to vandfyldte reagensglas [1]. Artiklen var i første omgang blevet afvist af redaktøren på Nature, da arbejdet ikke skønnedes at have stor nok betydning! Lauterbur fandt som den første på at addere en magnetfeltsgradient til det konstante (høje) magnetfelt. Da nu magnetfeltet afhænger af positionen:

$$B = B_0 + G_x \cdot x + G_y \cdot y + G_z \cdot z \quad (1)$$

er der opnået en direkte sammenhæng mellem position og resonansfrekvens. Bemærk at det adderede mag-

netfelt fra gradienterne har samme retning som hovedmagnetfeltet. Ved at måle frekvensfordelingen af radiofrekvensstrålingen, som kernerne udsender, får man et direkte billede af kernerne position.

Mansfield og Grannell [3] påviste samme år som Lauterbur Fourier sammenhængen mellem kernetætheden og strålingen, som udsendes under NMR i en magnetfeltsgradient. Mansfield udviklede senere en række ultrahurtige metoder til billedannelse [4], som sidenhen har gjort det muligt f.eks. at måle små ændringer i blodgennemstrømningen i hjernen.



Figur 1. MR billeder af en skive gennem hjernen optaget med forskellige pulssekvenser. Til det venstre billede er parametrene valgt, så billedet bliver *protontæthedsvægtet*, hvorimod en ændring af parametrene kan resultere i et *T₂-vægtet* billede som illustreret til højre. Ændring af kontrastforholdene benyttes til at fremhæve forskellige dele af anatomen.

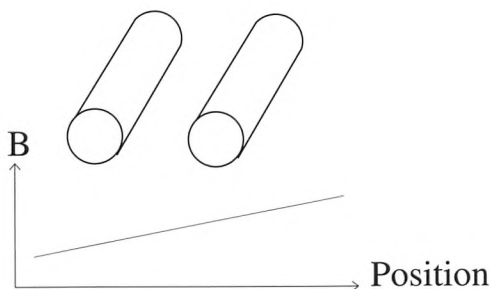
Princip for MR billedannelse

MR billedannelse er normalt baseret på en 2D (evt. 3D) Fouriertransform af et såkaldt **k-rums**billede. Dette optages ved at pålægge magnetfeltsgradienter i forskellige retninger efter påvirkning af kernerne med radiofrekvensbølger. Mønsteret, hvormed grader og radiofrekvenspulser pålægges, kaldes en *pulssekvens*. I standard pulssekvenser optages en linie i **k-rummet** for hver eksitationspuls. I Echo Planar Imaging (EPI), som Mansfields ultrahurtige metode hedder, dækkes hele **k-rummet** efter en enkelt eksitationspuls. Det stiller høje krav til gradienterne, som skal kunne ændres meget hurtigt, og i årene efter opfindelsen af EPI blev teknikken og hardwaren udviklet, således at det i slutningen af 1980'erne blev muligt at optage filmsekvenser med metoden.

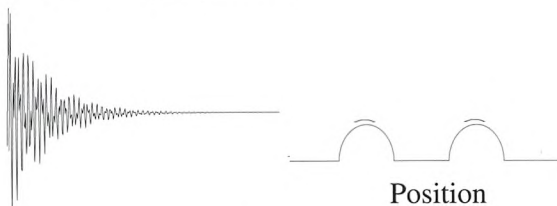
Kontrastmekanismer

For at opnå kontrast (dvs. forskellige signalstyrker) mellem forskellige typer væv på MR billeder udnyttes det forhold, at disse ofte har forskellige relaxations-tider. Når ligevægtsmagnetiseringen påvirkes med ra-

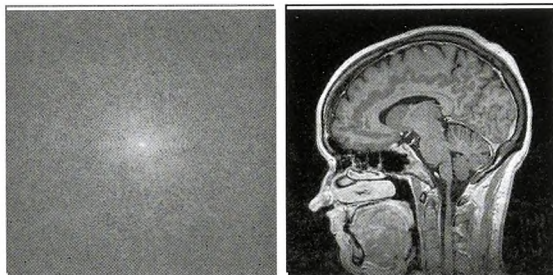
Box 1. Princip for MR billedannelse.



Figuren illustrerer to reagensglas med vand, som ønskes afbildet med MR. Hydrogenkernerne i vandet har et magnetisk moment og udviser derfor magnetisk resonans, når de placeres i et magnetfelt. Ved addition af en magnetfeldtsgradient fås en lineær sammenhæng mellem position og resonansfrekvens. Efter eksitation af kernerne vender de tilbage til ligevægt under udsendelse af radiofrekvensstråling. Ved en Fouriertransformation af det optagede signal (venstre figur) fås frekvensspektret (højre figur) som direkte svarer til kernetætheden. I det en-dimensionale tilfælde svarer det til en projektion af det undersøgte objekt, her reagensglassene.



Et to-dimensionalt MR billede kan dannes ved at optage en række udsendte radiofrekvenssignaler efter at objektet har været udsat for forskellige mønstre af magnetfeldtsgradienter. Hver optagelse svarer til en linie i det såkaldte **k**-rum (venstre billede). En 2D Fouriertransform producerer MR billedet (højre billede).



diobølger dannes en transversal komponent på tværs af det stærke magnetfelt. Denne komponent henfalder med tidskonstanten T_2 , som er den karakteristiske tid for at kernespinne kommer ud af fase. Ligevegtsmagnetiseringen genopbygges med den karakteristiske tidskonstant T_1 .

Ved at justere parametrene i pulssekvensen kan man opnå forskellige former for kontrast i billedet, som f.eks. kan være T_1 - eller T_2 -vægtet (se figur 1).

Der findes en mængde forskellige kontrastmuligheder i billedoptagelsen, hvilket er en af de store fordele ved MR sammenlignet med andre billedannelsesteknikker. Endvidere er det muligt at indsprøjte kontraststof, som påvirker relaxationsstiderne for nærliggende væv. Derved er det f.eks. muligt at følge blodets bevægelse ud i de mindste kar og opdage områder, hvor blodforsyningen er unormal.

Funktionel billedannelse

Mansfields ultrahurtige metode til at lave MR billeder blev oprindeligt anset for at skulle have størst anvendelse indenfor undersøgelser af hjerter, men den anvendes nu næsten udelukkende til hjerneundersøgelser. I 1993 udvikledes funktionel MR billedannelse (fMRI), som i høj grad er afhængig af at kunne optage billeder i meget hurtig rækkefølge. I fMRI detekteres de små ændringer i blodgennemstrømningen i hjernen, der sker når hjernen arbejder. På den måde kan man afbilde hvilke områder af hjernen, der aktiveres, når man f.eks. bliver udsat for en synspåvirkning eller skal udføre en bevægelse.

Måden, hvorpå blodgennemstrømningen kan påvirke MR billederne, er via de nævnte relaxationsstider T_1 og T_2 . fMRI målingerne laves ved at optage billeder mens påvirkningen af patienten skifter mellem to tilstande, som f.eks. kan være hvile og bevægelse af højre pegefinger. Signalændringen på grund af de ændrede kontrastforhold er på få procent, og normalt midles lange billedserier for at danne de såkaldte "aktiveringsbilleder" (figur 2).



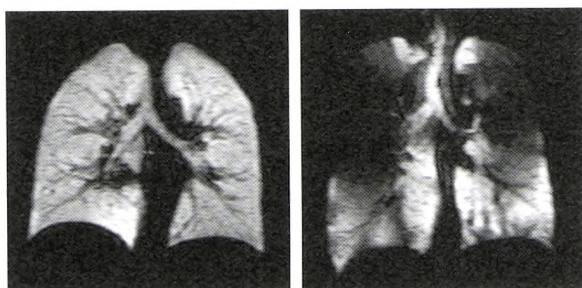
Figur 2. Aktiveringsbillede for en patient, der har været udsat for synspåvirkning og lydpåvirkning. Der ses forøget aktivitet (blodgennemstrømning) i synscenteret (grønt område) og hørecenteret (rødt område). Billedet er optaget med Hvidovre Hospitals nye højfeltsscanner.

Lungebilleder med hyperpolariserede gasser

En ny anvendelse af MR opstod i 1994, da det første gang blev vist at man kan afbilde hulrum fyldt med såkaldte hyperpolariserede gasser. Dette benyttes i dag til opnå information om lungefunktion ved at afbilde inhaleret hyperpolariseret ^3He .

Normalt udnyttes den svage magnetisering, der opstår når kroppens hydrogenkerner udsættes for et kraftigt magnetfelt til billedannelsen i MR. I et magnetfelt på 1.5 T (typisk for nutidige MR skannere) opnår hydrogenkernerne en polarisation på ca. 5 ppm. I forbindelse med atomfysisk grundforskning er der udviklet metoder til at polarisere ædelgasisotoperne ^3He og ^{129}Xe , som begge har kernespin 1/2. Hyperpolariserede gasser af disse isotoper har en så høj polarisationsgrad (i størrelsesordenen procent), at MR signalintensiteten er fuldt på højde med det sædvanlige protonsignal på trods af den lave kernetæthed i gassen.

Et eksempel på lungebilleder optaget med hyperpolariseret ^3He på MR afdelingen på Hvidovre Hospital ses på figur 3.



Figur 3. MR lungebilleder optaget efter inhalation af hyperpolariseret ^3He . Til venstre ses raske lunger med homogen fordeling af gassignalet. Til højre ses ødelagte lunger hos en storyrger, hvor en stor del af lungerne ikke fungerer.

Fremtiden for MR billedannelse

MR billedannelse har gennemgået en rivende udvikling, siden metoden første gang blev beskrevet for 30 år siden. Den giver fantastiske muligheder for at "se" ind i kroppen, og i modsætningen til f.eks. CT skanning sker det uden at patienten bliver udsat for skadelig røntgenstråling. Klinisk anvendes metoden til at undersøge stort set alle organer. Det er et vigtigt instrument i forbindelse med diagnose og opfølgende undersøgelser efter behandling. Der udføres mange steder også forskning i udvikling af nye undersøgelsesmetoder, dette sker bl.a. på Hvidovre Hospital, hvor MR afdelingen er halvt forskningsbaseret.

Der er utallige nye udviklinger indenfor MR gående i meget forskellige retninger. Et af de nyere tiltag, som dog endnu ikke har vundet nogen større udbredelse, er udviklingen af de såkaldt "åbne" skannere. De har relativt lavt felt ($< 0.5\text{ T}$) og udmærker sig ved, at det er

muligt at lave billedannelsen, samtidig med at lægerne foretager et kirurgisk indgreb på patienten.

En anden udvikling er brugen af højere magnetfelt til skannerne. Hvidovre Hospital fik sidste år installeret landets første 3 T skanner, som primært anvendes til hjerneundersøgelser. Specielt til fMRI har den sin berettigelse, idet det svage fMRI signal er proportionalt med feltstyrken. Endvidere er det høje felt også fordelagtigt for spektroskopiske metoder.

Der forskes intensivt i udviklingen af nye kontraststoffer, som f.eks. kan bruges til at måle pH-værdi, iltindhold og andre biokemiske karakteristika for væv. Udover de hyperpolariserede gasser er det også muligt at polarisere ^{13}C . Kulstoffet optræder som en del af et organisk molekyle, kan injiceres i blodbanen og afbildes med MR. En af fremtidsvisionerne i den forbindelse er at mærke stoffer, der indgår i stofomsætningen i kroppen, med hyperpolariseret ^{13}C , og således få mulighed for direkte at visualisere metabolisme.

Der er ingen grund til at tro, at udviklingen indenfor MR billedannelse vil stilne af, og man kan formentlig imødesee nye Nobelpriser indenfor feltet i fremtiden!

Referencer:

- [1] P. C. Lauterbur (1973) "Image Formation by Induced Local Interactions: Examples Employing Nuclear Magnetic Resonance", *Nature*, bind **242**, side 190-191.
- [2] R. Damadian (1971) "Tumor Detection by Nuclear Magnetic Resonance", *Science*, bind **171**, side 1151-1153.
- [3] P. Mansfield and P. K. Grannell (1973) "NMR 'diffraction' in solids?", *J. Phys. C*, bind **6**, side L422-L426.
- [4] P. Mansfield (1977) "Multi-planar image formation using NMR spin echoes", *J. Phys. C*, bind **10**, side L55-L58.



Lise Vejby Søgaard er ansat på MR afdelingen på Hvidovre Hospital og arbejder bl.a. med lungebilledannelse med hyperpolariseret ^3He .

“Overdrevet god oplevelse”¹

Mikkel Bo Nielsen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.

For fjerde år i træk har den gruppe studerende som normalt står bag det succesfulde “IFA Fysikshow” arrangeret og gennemført fysik-workshop henover tre dage i gymnasiernes efterårsferie for 1. G’ere fra Fyn og Jylland.

For fire år siden var workshoppen kun for 25 deltagere og havde en varighed på 2 døgn, men er sidenhen udvidet således at vi i år var 43 deltagere i 3 døgn. I løbet af dagene er der arrangeret foredrag med nogle af instituttets medarbejdere ligesom eleverne får en grundig rundtur på instituttet og får således set et rigt udsnit af instituttets mange laboratorier og forskningsfaciliteter. På denne rundtur bliver de også for første gang introduceret for noget af det udstyr som de senere i workshoppen skal arbejde med, udstyr som ”normalt” bliver brugt til frontforskning af instituttets forskere og udenlandske brugere. Eleverne får i hold af ca. 10 mulighed for at gennemføre øvelser af en varighed på 4 timer og disse øvelser varetages af forskerne selv med assistance af showfysikere, som sørger for relevante ”sideforsøg” så alle elever om muligt er aktiveret igennem hele øvelsesperioden.



Søren Keiding fortæller om guitarens fysik.

Foredragene spændte vidt. Fra “Antistof og antipartikler”², over “Atomere: The Rolling Stones of physics”³ og “El-guitarer og naturvidenskab”⁴ til David Field’s “The meaning of life, the Universe and everything...”, så et bredt spektrum af fysikken var således dækket og deltagerne ører var spidse selv om dagens lange program godt kunne resultere i ufrivilligt halvlukkede øjne.

Derudover havde deltagerne mulighed for at være hands-on med det ypperste forskningsapparat, herunder LEED-apparat, ionfælder, Scanning Tunneling

Microscopes og 400 keV accelerators.

Om aftenen var programmet krydret med besøg på Steno-museet og med et hygge-konkurrence-arrangement som havde et væsentligt islæt af faglighed, men som alligevel bragte lattermusklerne i sving.

Som de andre år, er Fysikshowet ved IFA, tvunget til på baggrund af de tilbagemeldinger som vi fik fra deltagerne i løbet af dagen, men også de evalueringer de udfyldte før de tog hjem at konkludere at Fysikshowets Workshop 2003 var en ubetinget succes.



Artiklens forfatter underholder deltagerne.

Når vi er i stand til at videregive at “Folk på instituttet er ikke så støvede som man tror – de virker meget seriøse med deres arbejde, hvilket gør det til en utrolig god oplevelse”, programpunkterne får superlativer tilknyttet, såsom: “herrespændende, helt igennem udmærket, megaspændende” og “det er helt vildt der bliver gjort så meget ud af det. Plus at vi tager en masse viden med hjem som vi kan bruge i vores hverdag/i fysiktimerne”⁵, så er målet nået for Workshoppen: At give 1. G gymnasie-elever mulighed for at opleve fysik på en anden måde, at fagligt berige dem og samtidig vise fysikeren som et helt menneske.

Tak til lærere som har katalyseret vores information til tilmeldinger, deltagerne, instituttets involverede personale og ikke mindst sponsorerne: Danfoss, Cowi, Thomas B. Triges Fond, Terma, Oticon Fonden, og DNF (Villum Kann Rasmussen Fonden), Kvant og Aktuelt Naturvidenskab.

Yderligere information vedrørende Fysikshowets aktiviteter, Workshoppen eller et fremtidigt fælles-europæisk projekt “EuroPhysicsFun” kan findes på www.fysikshow.dk

¹Citat fra evalueringsskema Fysikshow Workshop 2003

²Ved Ulrik Uggerhøj

³Ved Klaus Mølmer

⁴Ved Søren Keiding

⁵Citat fra evalueringsskema Fysikshow Workshop 2003

Redigeret af Michael Cramer Andersen

Voldsomme udbrud på Solen

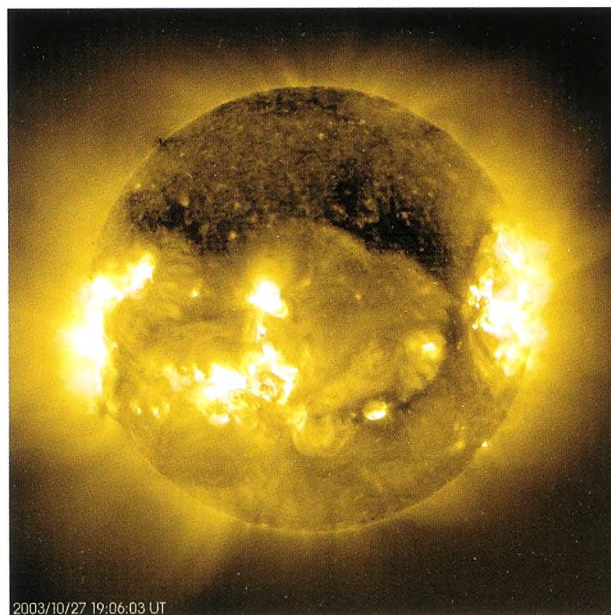
Solen udløste den 28. og 29. oktober to gigantiske udbrud af ladede partikler og røntgenstråling. Udbruddene kom fra en enorm solpletgruppe og forårsagede bl.a. strømafbrydelser i Malmø og forøget nordlysaktivitet.



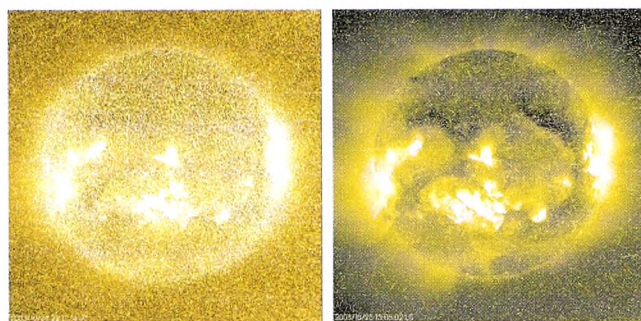
Figur 1. Solpletter den 28. oktober 2003 taget med SOHOs MDI instrument. Solpletgruppen der var årsag til udbruddene ses under midten (NASA/ESA).

Solen observeres døgnet rundt af SOHO-satellitten hvorfra ovenstående billeder er taget fra. Den 4. november udløste Solen endnu et udbrud – det hidtil største der er målt – hvor Solen udsendte 28 gange mere røntgenstråling end normalt. Der strømmede partikler ud i solvinden med hastigheder på 600 km/s mod de normale ca. 350 km/s. Der var kraftige forstyrrelser i radiokommunikationen i USA, som vendte mod Solen da partiklerne ankom til Jorden knap tre dage efter udbruddet. To japanske satellitter blev desuden sat ud af funktion og astronauterne ombord på Den internationale Rumstation måtte søge i dækning i et service-modul. Man kunne observere nordlys over Danmark, dels med en amerikansk meteorologisk satellit, men også elever og lærere ved Amtsgymnasiet i Sønderborg

som bl.a. tog billedet af nordlys nederst i figur 4. Læs mere om solens udbrud i artiklen på Kvants bagside.



Figur 2. I ultraviolet lys, udsendt af jern Fe XV ved en bølgelængde på 284 Å, ses solaktiviteten tydeligt. (SOHOs EIT-instrument, NASA/ESA).

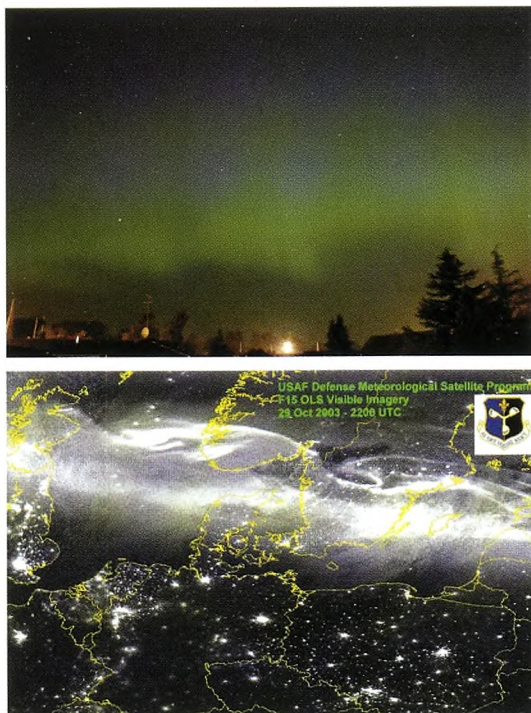


Figur 3. SOHOs EIT-instrument blev kraftigt forstyrret af de ladede partikler (NASA/ESA).

Kilder: Astronyt på Tycho Brahe Planetarium, www.tycho.dk/article/view/805/3/121; SOHO, sohowww.nascom.nasa.gov. Nordlysbilleder, www.amtsgym-sdbg.dk/as/auroraoct2003.

Rødforskydning for 200.000 galakser støtter teorien om mørkt stof og mørk energi

Astronomer fra Sloan Digital Sky Survey har nu bestemt rødforskydning af over 200.000 galakser og kvasarer og kortlagt hvordan de fordeler sig i hobe og større strukturer.



Figur 4. Nordlys (Amtsgymnasiet i Sønderborg) og fra den amerikanske satellit USAF.

Afbildes tæthedsfluktuationerne som funktion af afstandsskalaen ser man en tydelig afhængighed, der falder når man går mod større skalaer, dvs. på stor skala er Universet meget jævnt (se figur 6).

Kortlægningen startede i slutningen af 1980'erne og involverer over 200 astronomer over hele verden. På klare nætter optages billeder af galakserne i fem forskellige filtre og målet er at bestemme positioner og størrelsesklasser for 100 mio. galakser og kvasarer. På mindre klare nætter optages spektre og dermed rødforskydning af 608 galakser af gangen gennem optiske fibre og her er målet at nå 1 mio. galakser. Fra målingerne kan man bl.a. bestemme de kosmologiske parametre og de stemmer både med den uafhængige kortlægning af galakser, "Anglo Australian 2dF galaxy redshift survey" og med målinger af mikrobølgebaggrundsstrålingen med WMAP. Forskerteamet når frem til, at Universets energiindhold består af ca. 70% mørk energi, 25% mørkt stof og 5% atomer. Selv om både mørkt stof og mørk energi savner en dybere forståelse, giver uafhængige undersøgelser altså det samme resultat og det er nu meget svært at afvise.

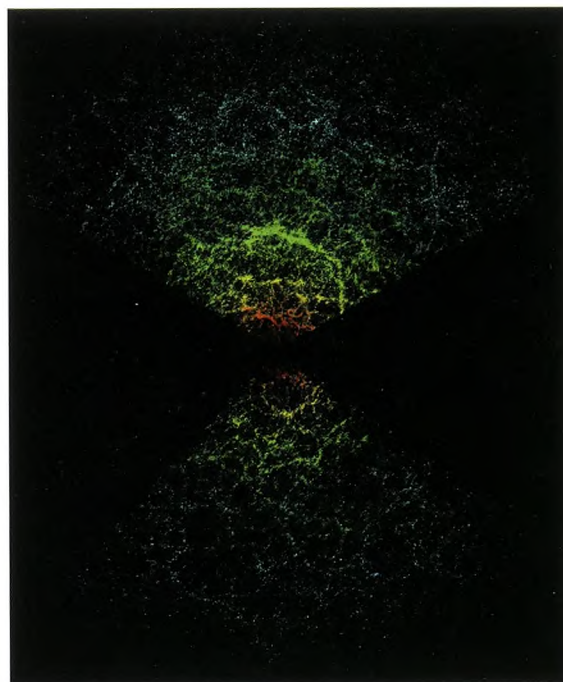
Kilde: Sloan Digital Sky Survey, www.sdss.org/news.

Fysiknobelpris for superledning og superflydning

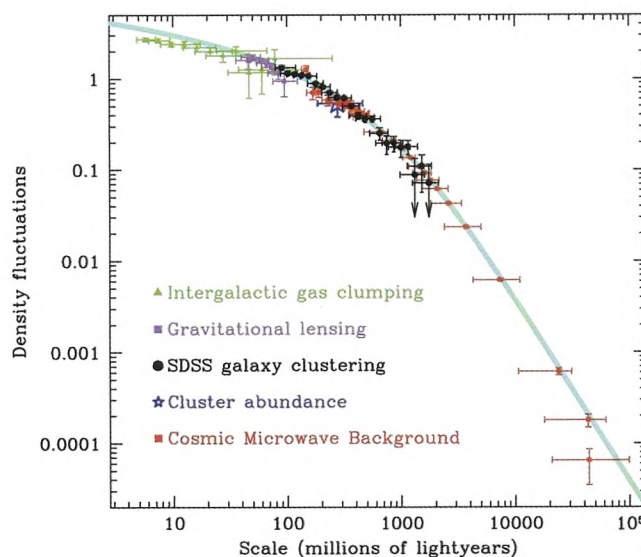
I år er fysikerne Alexei Abrikosov og Vitaly Ginzburg tildelt halvdelen af Nobelprisen for udvikling af teorien om superledning og den anden halvdel til Anthony Leggett for at have forklaret en type af superflydning. Både superledning og superflydning optræder ved meget lave temperaturer og beror på kvante-

mekanikken. Læs mere om årets Nobelpriser på Nobels omfattende hjemmeside og i artiklen på side 7.

Kilder: Nobel hjemmeside, www.nobel.se.



Figur 5. Knap 67.000 af de 200.000 galakser.



Figur 6. Tæthedsfluktuationer på forskellige skalaer.

Galileo rumsonden knust mod Jupiter

Den 21. september ramte Galileo rumsonden ind i kæmpeplaneten Jupiter. Der var tale om en kontrolleret selvmordsmission, idet rumsonden var ved at løbe tør for brændstof og man ville ikke risikere at den havnede i en bane hvor den ville komme til at gøre skade. Galileo har en lang række af succeser bag sig. Den opdagede en måne omkring asteroiden Ida, den har un-

dersøgt Jupiters måner og bl.a. fundet at ismånen Europa sandsynligvis har et hav af flydende vand under isen og den fulgte kollisionen af kometen Shoemaker-Levy mod Jupiter. Under kollisionen med Jupiter målte rumsonden til det sidste.

Kilde: www.jpl.nasa.gov/galileo.

Direkte billeder af ekstrasolare planeter

Beviserne for planeter omkring andre stjerner kommer mest fra indirekte metoder. Primært måling af Dopplerforskydninger af stjernen, som følge af at en planet trækker systematisk i stjernen, og i enkelte tilfælde ved en transit, hvor en planet passerer hen foran stjernen, og svækker stjernens lysstyrke ganske lidt. Problemet med at danne billeder eller lave spektroskopi af en planet skyldes at lyset fra planeten overskygges af stjernen. En måde at komme uden om dette problem er ved at bruge "nul-interferometri". Ved almindelig interferometri kombineres lyset fra to teleskoper på en måde, så opløsningen effektivt svarer til at man observerer med et teleskop der har en diameter som afstanden imellem teleskoperne.

I stedet for at *maksimere* det kombinerede signal viser nye studier, at man med fordel kan *minimere* det hvorved et svagere objekt (en exoplanet) der er nærmere end et meget klart objekt (en stjerne) pludselig træder frem i lyset. William Danchi fra Goddard Space Flight Center og hans kolleger har studeret denne teknik grundigt og specielt optimeret teknikken til at finde lyset fra små (jordlignende) planeter. Det betyder bl.a. at et rumbaseret "nul interferometer" ikke behøver at være så stort som tidligere antaget. Første generation kunne bestå af to halvmeter teleskoper med en indbyrdes afstand på 12 meter og være i stand til at udføre spektroskopiske studier af atmosfærerne hos de allerede opdagede exoplaneter. En senere og større version kunne lede efter jordlignende exoplaneter og identificere karakteristiske molekyler som ozon, ilt, kuldioxid, vand og metan og hjælpe til at bestemme alderen af planeten og hvilke livsprocesser der kan optræde.

Kilde: AIP Physics News 658 21. oktober 2003.

KVANT-nyheder på nettet: www.nbi.dk/dfs/ny/

Moderne kosmologi på populært dansk

Michael Cramer Andersen

"Univers" er en ny bogserie fra Aarhus Universitetsforlag, hvor danske forskere skriver om store emner henvendt til alle. Den første bog i serien er skrevet af kosmolog Steen Hannestad og titlen er meget passende "Universet – Fra superstrengte til stjerner".

Forfatterens hensigt har været, "at skrive en bog, der dels sammenfatter den klassiske kosmolog, og dels beskriver den rivende udvikling, faget i øjeblikket befinder sig i". Det er lykkedes meget godt.

Kapitlet om "Kosmologiens historie" fra de første kulturer der har efterladt sig skriftlige kilder til det 20. århundredes begyndelse, giver en informationsmættet og dog let forståelig oversigt. Læsere der er mere interesserede i den historiske udvikling af verdensbilledet kan fortsætte i bogen "Fra kaos til kosmos" af Helge Kragh og Olaf Pedersen.

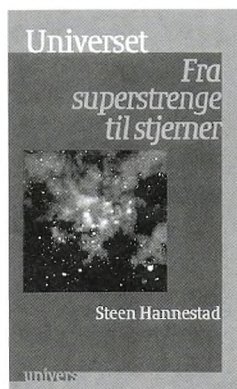
Den moderne kosmologis grundlag behandles i kapitlerne "Einsteins relativitetsteori" og "Universets geometri". De giver det bedste grundlag for at beskrive "Universets udvidelse", der er helt central i big bang teorien, og samtidig medfører spørgsmålet om Universets alder. Alt sammen er forklaret pædagogisk og vel illustreret (nogle steder mærkes inspirationen fra "Hawking's Univers - Illustreret"), men det er nok set før – også på dansk.

Dér hvor bogen byder på noget afgørende nyt er i de efterfølgende kapitler om "Det mørke stof og Universets endelige skæbne" og "Tyngdebølger". Der er også et par vellykkede kapitler der tager læseren på "En rejse tilbage i tiden", som bl.a. fortæller om galaksedannelse, kvasarer, den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling, dannelse af lette grundstoffer, antistof, inflation og naturen af det mørke stof. Herefter diskuteres aktuelle teorier om, at universet er domineret af mørk energi, en ny form for energi der undertiden kaldes "kvintessens", og som måske er en kosmologisk konstant.

Forfatteren, som forsker i neutrinoskosmologi, mikrobølgebaggrundstrålingen og ekstra dimensioner, er på hjemmebane når han derefter behandler det allerførste brøkdelt af et sekund efter Universets skabelse hvor der kun er teori og ingen observationer. Han beskriver strengteori og ekstra dimensioner og hvad de kan bidrage med i kosmologien. Det "Ekpyrotiske scenarie", som blev foreslået i 2001 som alternativ til inflation, er også omtalt.

Bogen rummer desværre også nogle fejl. På side 14 står der f.eks. at "big bang teorien blev etableret i 1930'erne", selvom den først blev udviklet i slutningen af 1940'erne og fik sit navn i 1950'erne. Grafikken, der viser "Det Kopernikanske verdensbillede" fra 1543

(side 20), har desuden Jupiters fire største måner med, selvom de først blev opdaget i 1610... På side 28 har den store astronom William Herschel fået navneforandring til "Friedrich Herschel".



"Universet – Fra superstrengte til stjerner" af Steen Hannestad

Mange steder i bogen forklares emner fra partikelfysikken fordi Universet i sine tidligste faser var så varmt at energien svarer til, eller er højere end, hvad man kan genskabe i partikelacceleratorer. Derfor skal man, for at komme nærmere en løsning på de mange ubesvarede spørgsmål i kosmologien enten bygge større acceleratorer eller benytte Universet som laboratorium. For i mikrobølgebaggrundsstrålingen ligger meget information gemt om det tidlige varme Univers hvor der herskede forhold som vi ikke kan genskabe på Jorden. Da acceleratorer er meget dyre er man i de senere år begyndt at investere mere i de billigere kosmologiske satellitter som kan hjælpe til at besvare de spørgsmål som både kosmologer og partikelfysikere er interesserede i.

Forfatteren lover flere steder, at vi vil få overraskende nye observationer i de kommende år og det er kun på den måde forskerne kan skelne mellem gode og dårlige teorier. Bogen er generelt meget optimistisk men slutter af med at konstatere at vi ikke kan "være sikre på, at Danmark kommer til at spille en væsentlig rolle i de kommende år. På fagets vegne er der dog all mulig grund til optimisme. Mange andre steder i verden er der stor vilje til grundforskning, og vi kan være sikre på store nye opdagelser indenfor kosmologien, også i det 21. århundrede". Lad os håbe at Danmark trods alt kommer til at spille en lille rolle i fremtidens kosmologiske observationsprogrammer som især kommer til at fokusere på observationer og fortolkning af den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling. Her bør det nævnes, at Danmark deltager i PLANCK-missionen, bl.a. gennem Dansk Rumforsknings Instituts konstruktion af ét af spejlene. PLANCK missionen er praktisk taget ikke nævnt, kun i en boks på side 115, og den skal observere mikrobølgebaggrundsstrålingen i hidtil uset detalje fra 2007. Vil man læse mere om PLANCK-

projektet kan man passende fortsætte i Michael Linden-Vørnles bog "Der var engang et univers".

Det er prisværdigt at unge danske forskere formidler deres viden om kosmologi på dansk og bogen egner sig fint til julegaveidé. Bogen rummer desuden to appendikser med henholdsvis ordforklaring og elementær partikelfysik samt lister med yderligere litteratur og interessante hjemmesider. Prisen er 198 kr.

Andre bøger i serien er "Sproget", som er udkommet samt bøger om emnerne "Psyke", "Tid", "Liv", "Ide" og "Myte" som er under forberedelse.



Michael Cramer Andersen er astrofysiker og nyhedsredaktør på Kvant.

PFEIFFER VACUUM

Totalleverandør

VACUUMKOMPONENTER

**Pumpesystemer
Ventiler og fittings
Specialkamre
Massespectrometri**

**Alt til systemopbygning
i laboratoriet
for
NANO FORSKNING**

Tel. 4352 3800 Fax 4352 3850
efa@pfeiffer-vacuum.dk

Solen i udbrud

Michael J.D. Linden-Vørnle, Tycho Brahe Planetarium, og Jens Olaf Pepke Pedersen, Dansk Rumforskningsinstitut.

Solen har i løbet af efteråret været ekstremt aktiv med en serie meget voldsomme udbrud. Rekord blev sat den 4. november med det kraftigste soludbrud, der nogensinde er blevet registreret.

Energimængderne, der blev frigivet ved disse begivenheder, var enorme – som at detonere milliarder af kernevåben på samme tid. Under udbruddene kastede Solen vældige byger af elektrisk ladede partikler ud i rummet – såkaldte koronale masseudkastninger. Efter ca. et døgn rejste fra Solen ramte dele af disse byger Jordens beskyttende skjold: Jordens magnetfelt. Sammenstødet med partiklerne fra Solen skabte meget voldsomme forstyrrelser i Jordens magnetfelt – en såkaldt geomagnetisk storm – der gav anledning til kraftig nordlysaktivitet mange steder på kloden, bl.a. i Danmark. Ved den seneste storm den 20. november var det i USA muligt at se nordlys i alle stater undtagen Hawaii. I Europa kunne nordlyset ved denne lejlighed ses helt nede ved Middelhavet – i Italien og Grækenland.

Soludbrud og geomagnetiske storme kan dog også have mere ubehagelige virkninger som nedbrud af strømforsyning, forstyrrelser i radiokommunikation og ødelæggelse af satellitter. Nogle flyselskaber valgte derfor at lægge deres transatlantiske ruter sydligere end normalt for at undgå nordpolsområdet, hvor forstyrrelserne var ekstra stærke. En strømafbrydelse, der om aftenen den 30. oktober ramte 50.000 husstande i Malmø, var formodentlig et resultat af stormen, som på dette tidspunkt var meget intens. To japanske satellitter blev tilsyneladende også ramt af følgerne af et af de kraftige soludbrud. Den ene satellit, Midori II, var kun ti måneder tidligere blevet opsendt for at overvåge forandringer i Jordens klima, ændringer i ozonlaget og globale miljøændringer. Missionen var planlagt til at vare mindst tre år, men fik altså en brat afslutning. Heldigvis klarede den danske Ørsted-satellit rumstormene i fin stil.

Store solpletter

Nye undersøgelser viser, at Solen er mere aktiv nu, end den har været i mange år. Et mål for aktiviteten er antallet af solpletter, som er "små", mørke områder på Solens overflade. Når Solen er meget aktiv, er der mange solpletter, mens der er færre, når Solen er faldet

til ro.

Solpletterne er områder på Solens overflade, hvor temperaturen er ca. 1.500°C lavere end de normale 5.500°C, hvilket får dem til at se mørke ud. Den lavere temperatur skyldes, at Solens magnetfelt "snører" sig sammen, hvorved den varme gas bliver skubbet til side.



Figur 1. Nordlys fotograferet natten mellem den 29. og 30. oktober 2003 i Risskov ved Århus. Foto: © Henrik Nordvig.

Solpletter blev første gang observeret i 1610 efter, at Galileo Galilei begyndte at studere Solen med sin kikkert. Rapporter fra datidens astronomer viser, at der blev observeret meget få solpletter fra omkring 1645 til 1715. Denne periode, hvor Solen var meget rolig, har fået navnet "Maunder Minimum" efter astronomen E. W. Maunder.

Fortsættes inde i bladet side 14.