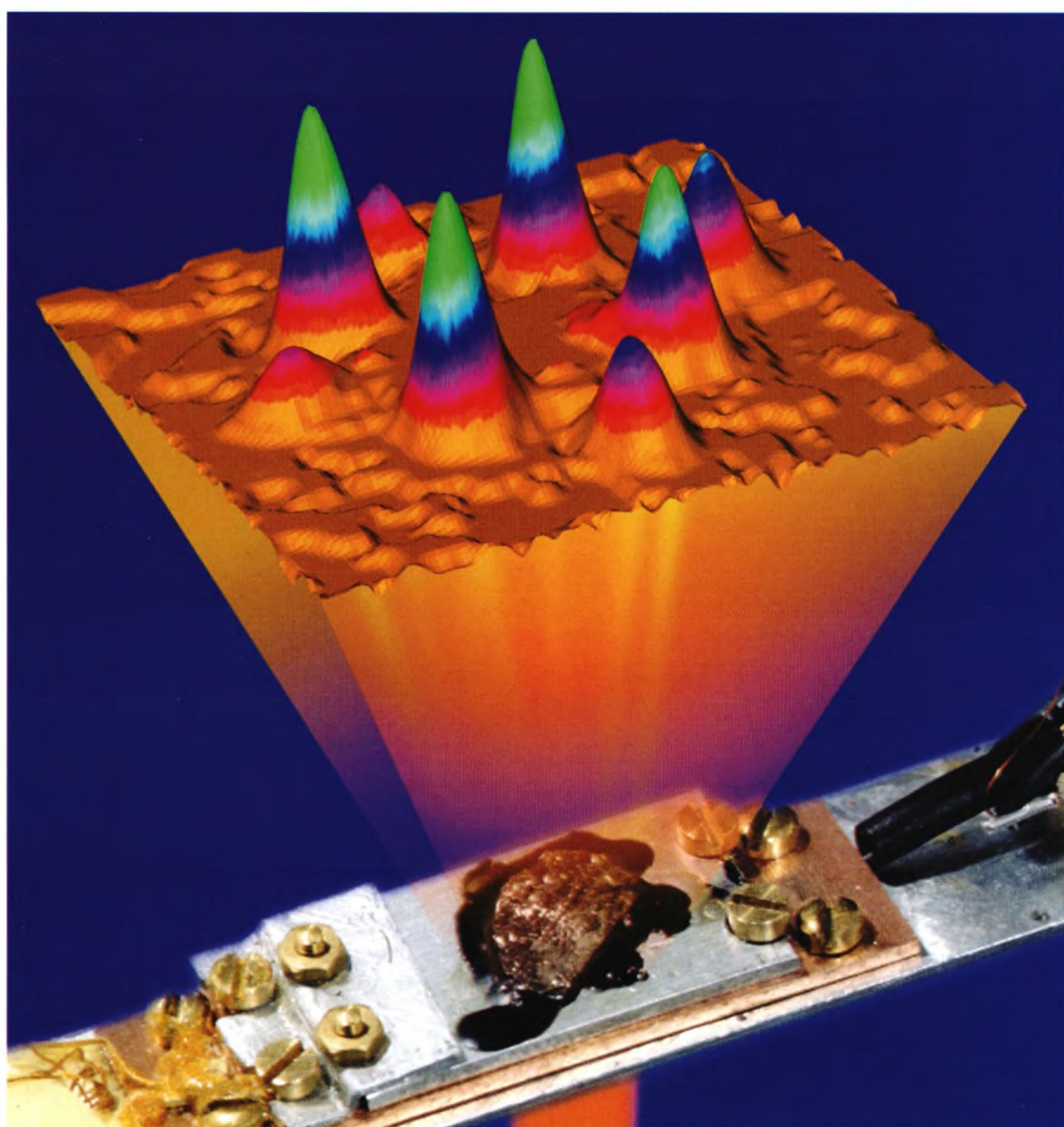


KVANT December 4 2000

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 11. årgang



- EKSOTISKE HVIRVLER • FREMTIDENS NEUTRONKILDE •
- DE TO KULTURER PÅ NY • GALAKSER I DET TIDLIGE UNIVERS •
- ØRSTED MEDALJEN TIL JENS MARTIN KNUDSEN • RISØ'S REAKTOR LUKKET •
- KVANT I 100 ÅR • NYHEDER FRA KVANT, AS, DFS, DGF OG SNU • LÆSEROPGAVE •

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

c/o Ørsted Laboratoriet
Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø

E-mail : kvant@nbi.dk
Giro : 5 84 31 46

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

Redaktion
Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv. red.)
DCESS, NBIfAFG, KU
Michael Cramer Andersen (nyhedsred.)
Astronomisk Observatorium, KU
Camilla Bacher
Kemisk Institut, KU
Jørgen Friis Bak
Aarhus Universitet
Jørn Johs. Christiansen
Roskilde Kathedralskole
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 05 73 / fax 35 32 05 76.

Oplag: 2.750
Tryk: P. J. Schmidt A/S, Vojens
ISSN 0905-8893



Produktionsplan
Nr. 1-01 udkommer ca. 15. marts
Nr. 2-01 udkommer ca. 15. maj
Nr. 3-01 udkommer ca. 15. september
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

Indhold:

Ekstotiske hvirvler – Fluxliniegitteret i magnetiske superledere <i>Morten Ring Eskildsen og Niels Hessel Andersen</i>	3
ESS – fremtidens neutronkilde <i>Kim Lefmann</i>	12
Breddeopgave nr. 4 <i>Jens Højgaard Jensen</i>	14
Risø's DR3 reaktor taget ud af drift for bestandig <i>Bente Lebech</i>	15
De to kulturer på ny <i>Michael F. Wagner</i>	17
Nyt fra Astronomisk Selskab	21
Kvant-nyheder <i>Michael Cramer Andersen</i>	21
Galakser i det tidlige Univers <i>Johan P. U. Fynbo og Palle Møller</i>	22
Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse <i>H. C. Ørsted medaljen i sølv til Jens Martin Knudsen</i>	28
Nyt fra Dansk Fysisk Selskab	29
Nyt fra Dansk Geofysisk Forening	31
Kvant i 100 år	Bagsiden

Redaktionen af KVANT modtager meget gerne læserbreve, spørgsmål, forslag til artikler osv. fra læserne. En vejledning til nye forfattere findes på www.nbi.dk/dfs/KVANT.html. For tiden modtager redaktionen glædeligvis et stort antal bidrag. Desværre kan der med bladets begrænsede sideantal og udgivelsesfrekvens ofte være lang ventetid på at få et bidrag trykt, ligesom vi ikke får plads til alle bidrag. Vi prøver at holde forfatterne underrettede om deres indlæg, men hvis man ønsker at kende status for et bidrag, må man gerne kontakte redaktionen på e-mail: kvant@nbi.dk.

Forsiden:

EKSOTISKE HVIRVLER

Billedet på forsiden viser en skematisk præsentation af småvinkel neutronspreddning på fluxliniegitteret. Neutronerne kommer ind fra neden og passerer igennem den metalfarvede prøve hvor de spredes af fluxliniegitteret. Diffractionsmønstret registreres på den positionsfølsomme detektor vist øverst. Venligst udlånt af Peter Gammel, Lucent Technologies.
Læs mere i artiklen af Morten Ring Eskildsen og Niels Hessel Andersen side 3.

Eksotiske hvirvler – Fluxliniegitteret i magnetiske superledere

Morten Ring Eskildsen, Departement de Physique de la Matière Condensée, Université de Genève, og Niels Hessel Andersen, Afd. for Materialers Fysik og Kemi, Forskningscenter Risø.

Eksistensen af magnetiske fluxlinier og deres organisering i et fluxliniegitter i type-II superledere er et fascinerende kvantefænomen. Hvirvler i de superledende elektrons strømningsmønstre besidder egenskaber svarende til "rigtige" massive partikler og med en opførsel tilsvarende væsker og faste stoffer. Samtidig er hvirvlerne af afgørende betydning for teknologiske anvendelser. Alt dette har gjort studiet af fluxlinier til et meget aktivt forskningsfelt.

Denne artikel beskriver nogle af de fænomener som vi i løbet af de sidste år har opdaget ved studier af en bestemt familie af magnetiske superledere. Artiklen starter med en kort gennemgang af superledning generelt og fluxlinier og fluxliniegitteret i særdeleshed. En mere detaljeret fremstilling er bl.a. givet af Per Hedegård [1]. Derefter følger en kort introduktion til neutronspreddning, inden vi går over til at beskrive de studerede materialer og de opnåede resultater.

Superledning

Superledere er materialer der kan lede elektrisk strøm fuldstændig uden modstand. Fænomenet blev opdaget i 1911 af H. Kammerlingh-Onnes, der fandt at den elektriske modstand af kviksølv forsvandt pludseligt, når det blev kølet ned under en kritisk temperatur $T_c = 4.2$ Kelvin. Siden er superledning observeret i mange metaller, legeringer og visse organiske stoffer og siden 1986 også i flere familier af keramiske kobber-oxider kendt som høj-temperatur superledere.

Først i 1957 blev den detaljerede teoretiske forklaring på fænomenet superledning i metaller og legeringer givet af John Bardeen, Leon Cooper og Robert Schrieffer (BCS). De beskrev hvordan ledningselektronerne kan knyttes sammen ved vekselvirkning med krystallernes elastiske medium, og danne de såkaldte Cooper-par som kondenserer i den superledende tilstand. Elektronerne bliver herved bundet sammen med en vis energi og kan derfor flyde uhindret mellem de omgivende atomer. Med udgangspunkt i elektronparringen via elastiske kræfter gav BCS teorien en mikroskopisk forklaring på superledningen. Endnu tidligere i 1950, havde Vitaly L. Ginzburg og Lev D. Landau (GL) dog fremsat en fænomnologisk teori som beskrev superledningen ved en makroskopisk bølgefunktion for det superledende kondensat. Efterfølgende er de to teorier vist at være ækvivalente under visse omstændigheder. Det er klart at der lå en imponerende fysisk intuition bag ved fremsæt-

telsen af GL teorien. Diskussionen i de næste afsnit er baseret på GL teorien, da den umiddelbart fokuserer på de grundlæggende egenskaber ved den superledende tilstand og kan anvendes til tolkning og analyse af eksperimentelt målbare størrelser.

For en ordens skyld skal det nævnes at mekanismen bag elektronparringen i høj-temperatur superlederne endnu ikke er forstået, men den superledende tilstand kan beskrives med GL teori og en kompliceret makroskopisk bølgefunktion.

Superledning, magnetfelter og fluxlinier

Belært af H. C. Ørstedts opdagelse af sammenhængen imellem elektrisk strøm og magnetisme, kan vi vente at superlederens usædvanlige elektriske egenskaber også må afspejles i de magnetiske egenskaber.

I GL teorien er beskrivelsen af den superledende tilstand knyttet til to 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 varierer. De benævnes henholdsvis indtrængningsdybden (λ) og koherenslængden (ξ). I BCS teorien kan det vises at koherenslængden også er et mål for Cooper-parrenes udstrækning.

De to elektroner i et Cooper-par har modsat rettet magnetisk moment (spin). Et påtrykt magnetfelt, der ensretter disse momenter, vil billedligt talt vride Cooper-parrene fra hinanden og dermed ødelægge superledningen. Det felt der kræves for lige præcis at undertrykke superledningen kaldes for det termodynamisk kritiske felt H_c . Overordnet set gælder det således at superledning og magnetfelter er inkompatible, og superlederen søger derfor at afskærme feltet ved hjælp af tabsfri elektriske superstrømme. Herved fremkommer en rumlig separation af normale (dvs. ikke-superledende) områder gennemtrængt af magnetisk flux og superledende områder afskærmet fra magnetfeltet. Det er i denne sammenhæng underordnet om magnetfeltet pålægges udefra eller fremkommer ved at materialet indeholder magnetiske atomer som i sig selv skaber et magnetfelt.

Detaljerne af denne separation afhænger af energien i grænsefladen imellem et superledende og et normalt område (SN-grænseflade). Dette blev studeret af Alexei A. Abrikosov i 1957 som fandt at energien er posi-

Photonics is transforming the world we live in.
It is our commitment to provide photonics tools
that bring your ideas to light.

the Practical Application of Light

Imaging
Medicine
Forensics
Photonics
Aerospace
Metrology
Electronics
Spectroscopy
Reprographics
Biotechnology
Semiconductor
Analytical Chemistry
Materials Processing
Telecommunications

Melles Griot has supplied products that enable the practical application of light for 30 years, becoming a worldwide manufacturer and distributor of optics, lasers, opto-mechanical hardware, and instruments.

Pioneering the field of catalog sales with our industry-leading Optics Guides, today the Photonics Components division is a major OEM supplier of standard and custom optical components and advanced thin-film coatings, as well as optical tables, opto-mechanical hardware, and flexure-based nanopositioning systems.

Melles Griot Optical Systems specializes in the design and manufacture of multi-element optical systems for demanding OEM applications including semiconductor, machine vision, and reprographics.

A leader in laser technology for commercial and research applications, Laser division has expanded from multi-colored helium neon lasers into helium cadmium, air-cooled ion, semiconductor, solid-state, and frequency-stabilized lasers. Subassemblies, turnkey, and fiber optic beam delivery systems enhance these capabilities.

Complementing these capabilities, our line of laser measurement instrumentation includes power and energy meters, photodetector amplifiers, and laser beam profilers.

Working with industry, supporting research and development, partnering in OEM production — Melles Griot continues to lead the photonics industry.

We furnish the products that enable the practical application of light.

Photonics

is emerging as an important
technology for the future.

Melles Griot supplies the elements
used to **create, transform, and**
detect light for applications
as diverse as biotechnology,
telecommunications, entertainment,
and reprographics.



MELLES GRIOT

www.mellesgriot.com

Denmark

Stenagervej 13
DK-4100 Ringsted, Denmark

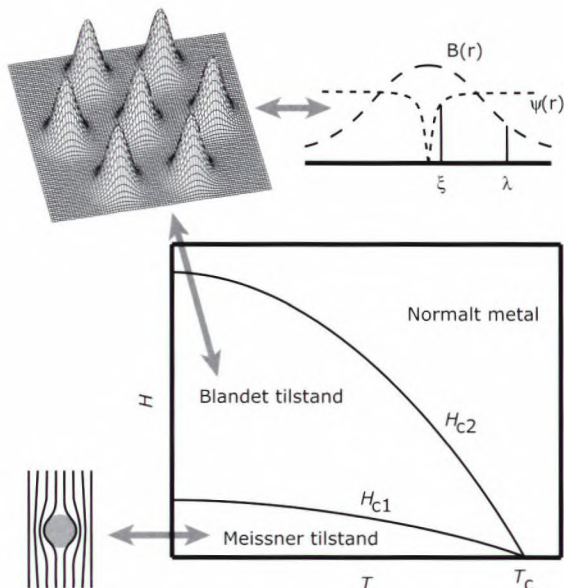
Tel: 5761 5049 • FAX: 5761 6049
E-mail: dk_mellesgriot@csi.com

Sweden

(Serving Sweden, Norway, Finland, Iceland &
The Baltic States)
Box 7071, Måttbandsvägen 12
S-187 12 Täby, Sweden

Tel: (08) 6308950 • FAX: (08) 6300745
E-mail: info.nordic@mellesgriot.com

tiv når den såkaldte Ginzburg-Landau parameter $\kappa = \lambda/\xi$ er mindre end $1/\sqrt{2}$ og negativ når $\kappa > 1/\sqrt{2}$. Denne forskel fører til en vidt forskellig opførsel og dermed en klassificering af superledere som værende enten type-I ($\kappa < 1/\sqrt{2}$) eller type-II ($\kappa > 1/\sqrt{2}$). For en type-I superleder er det energetisk mest favorabelt at minimere arealet af SN-grænseflader hvilket fører til en total udstødning af magnetfelter mindre end det termodynamiske kritiske felt H_c . Dette kaldes Meissner-Ochsenfelt effekten. For felter større end H_c undertrykkes superledningen. For type-II superledere er situationen modsat. Her opnås tilstanden med den laveste energi ved at maximere antallet af normale domæner omsluttet af superledende materiale. Hver af disse normale områder gennemstrømmes af magnetisk flux, og da fasen af den superledende bølgefunktion skal være koherent er den magnetiske flux kvantiseret i enheder af $\phi_0 = hc/2e$ (totalt kommer fra elektronparringen). Disse normale områder er omgivet af superledende skærmstrømme der holder magnetfeltet væk fra den øvrige del af superlederen. Hver af disse *fluxlinier* eller *Abrikosov hvirvler* indeholder ét fluxkvantum.



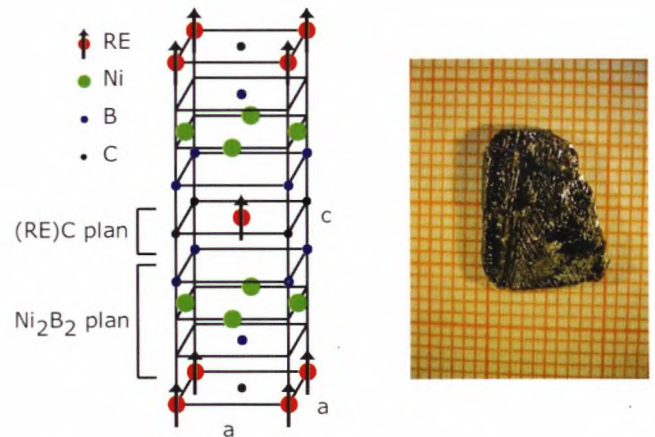
Figur 1. Typisk fasediagram for en type-II superleder. Under H_{c1} , i Meissner tilstanden vist til venstre, udstødes magnetfeltet fuldstændigt. Imellem H_{c1} og H_{c2} , i den blandede tilstand, gennemtrænger feltet superlederen i kvantiserede fluxlinier. Som vist øverst til højre i figuren er den superledende ordensparameter undertrykt i centeret af fluxlinien i en radius givet ved ξ . Udenfor fluxlinien falder magnetfeltet af over en karakteristisk afstand λ . Øverst til venstre ses feltfordelingen i et hexagonalt fluxliniegitter.

Fluxliniegitteret

For en type-II superleder falder det superledende respons på et påtrykt magnetfelt i tre forskellige kategorier afhængig af feltstyrken. Under et nedre kritisk felt, H_{c1} , udstødes dette fuldstændig som i en type-I su-

perleder, dvs. der udvises Meissner-Ochsenfelt effekt. Superledningen bryder sammen over et øvre kritisk felt, H_{c2} . Forholdet imellem det øvre og nedre kritiske felt, og det termodynamiske kritiske felt er givet ved

$$H_c = 1/(\sqrt{2}\kappa) H_{c2} \approx \sqrt{H_{c1} H_{c2}}.$$



Figur 2. Krystalstrukturen for (RE)Ni₂B₂C samt foto af en typisk enkystal med dimensioner $10 \times 12 \times 1 \text{ mm}^3$ og en vægt på 1 gram.

Fra disse relationer fremgår det klart at $H_c = H_{c2}$ netop når $\kappa = 1/\sqrt{2}$. Imellem det nedre og det øvre kritiske magnetfelt, i et meget interessant mellemstadium, gennemtrænger magnetfeltet superlederen i fluxlinier som beskrevet ovenfor. Forholdet imellem de kritiske felter og længdeskalaer i GL-teorien er givet ved

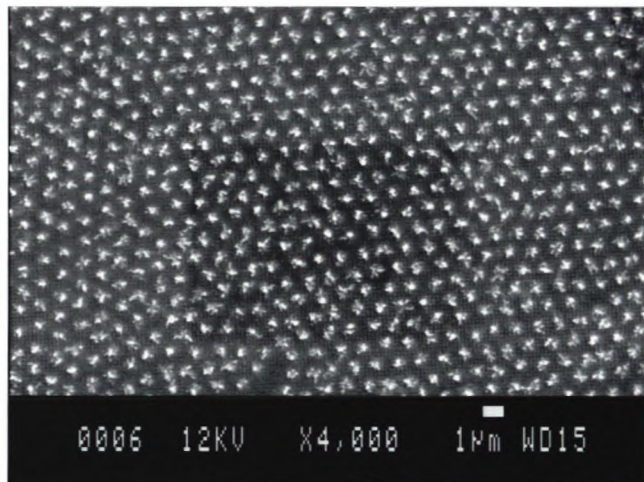
$$H_{c1} = \frac{\phi_0}{4\pi\lambda^2} \ln \kappa$$

og

$$H_{c2} = \frac{\phi_0}{2\pi\xi^2}.$$

I figur 1 er vist de karakteristiske længdeskalaer og de kritiske felter for en type-II superleder. Det er i den blandede tilstand, vist i det skematiske fasediagram, at vi finder fluxlinierne. Afhængig af temperaturen og feltstyrken samt specifikke materialeegenskaber vil fluxlinierne arrangere sig i en mere eller mindre ordnet struktur, som efter graden af orden og andre fysiske egenskaber benævnes hhv. fluxliniegitter, -glas, og -væske. Fluxliniegitteret er karakteriseret ved at fluxlinierne er organiseret i en ordnet struktur og er immobile. Fluxlinievæsken er den diametrale modsætning, hvor der ingen ordnet struktur er, og hvor fluxlinierne frit kan bevæge sig omkring. Endelig er en fluxlinieglass en kombination af de to, hvor fluxlinierne er immobile men ikke er ordnet systematisk. Specielt fluxlinievæsken er kritisk i teknologisk henseende, da mobile fluxlinier vil medføre elektrisk tab selv i den superledende tilstand, og en undertrykkelse af denne fase

er derfor afgørende for praktiske anvendelser af f.eks. de keramiske høj-temperatur superledere. Resultaterne i denne artikel omhandler alene fluxliniegitteret.



Figur 3. Dekorationsbillede af fluxliniegitteret i $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ ved 4.2 K og 20 ørsted. Mønsteret er dannet ved at skabe en tåge af jernpartikler som sætter sig på superlederens overflade hvor fluxlinierne skærer denne. Mønsteret af jernpartikler kan efterfølgende afbildes vha. et skanning elektronmikroskop. Her svarer de lyse områder til fluxliniernes position. I dette tilfælde ses et hexagonalt fluxliniegitter. Dekorationen er udført af Asger Abrahamson, Forskningscenter Risø.

Da hver fluxlinie bærer et fluxkvant er tætheden af disse bestemt af størrelsen af det påtrykte magnetfelt. Den præcise afstand imellem fluxlinierne afhænger af symmetrien af fluxliniegitteret, som, hvis vi antager at fluxlinierne er fuldstændig rette, kan anskues som et rent todimensionelt system. Det er simpelt at vise at for hhv. et kvadratisk og et hexagonalt fluxliniegitter (vist i figur 1) er afstanden, a , imellem fluxlinierne givet ved

$$a_{\diamond} = a_0 = \sqrt{(\phi_0/B)}$$

og

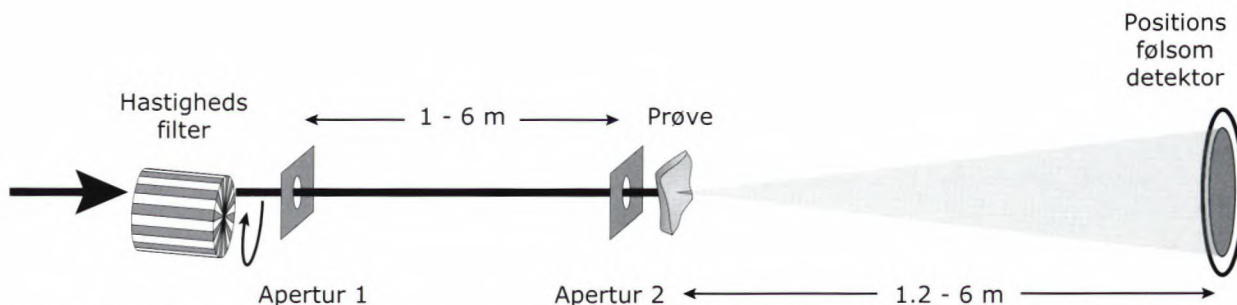
$$a_{\Delta} = (2/\sqrt{3})^{1/2} a_0 = 1.075 a_0.$$

Her er B den totale magnetiske induktion, dvs. det påtrykte felt, H , plus eventuelle demagnetiseringseffekter og bidrag fra det magnetiske delsystem. Sædvanligvis kan man sætte $B = H$, men som vi skal se i det følgende kan de magnetiske egenskaber give anledning til en væsentlig effekt. Som størrelsesordener finder man $a_0 \approx 4500, 1400$ og $450 \text{ \AA}$ for felter på hhv. $H = 100$ ørsted og 1 og 10 kiloørsted (10 kiloørsted svarer til 1 Tesla, $1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm}$).

Magnetiske superledere, borkarbiderne

Som det fremgår af diskussionen ovenfor er superledning og magnetisme generelt set ikke forenelige. Indtil midten af 70'erne kendte man da heller ikke til materialer der var både superledende og magnetiske, dvs. som indeholdt magnetiske ioner der spontant ordner sig i et regelmæssigt mønster. Teoretisk var det dog forudsagt at sameksistens er mulig, hvis der er tale om antiferromagnetisk orden hvor det frembragte magnetfelt i gennemsnit er nul, eller hvis det frembragte magnetfelt midlet over den superledende koherenslængde, ξ , er mindre end det termodynamiske kritiske felt, H_c . Systematiske eftersøgninger efter sådanne materialer førte i 1975–77 til opdagelsen af sameksistens i de såkaldte Chevrel faser og rhodiumborider. En ny klasse af materialer, i daglig tale kaldt borkarbider, blev opdaget i 1993. Nogle medlemmer af denne familie er både superledende og har eksotiske magnetiske faser. De har yderligere den fordel at det er muligt at fremstille store enkrystaller nødvendige for detaljerede målinger heriblandt småvinkel neutronspretningsforsøg.

Borkarbiderne har støkiometrien $(\text{RE})\text{Ni}_2\text{B}_2\text{C}$, og består altså, udover bor og kulstof, af nikkel og et blandt følgende grundstoffer: $\text{RE} = \text{Y, Dy, Ho, Er, Tm}$ eller Lu . Disse elementer sidder ordnet i en tetragonal krystalstruktur, som vist i figur 2, lagdelt med skiftende nikkelbor-planer og planer af kulstof og RE (sjælden jordart).



Figur 4. Principskitse af småvinkel neutronspretnings spektrometret på Risø. Neutroner med forskellige hastigheder genereret i forskningsreaktoren DR3 kommer fra venstre, hvor hastighedsfilteret sørger for at udvælge en bestemt hastighed og dermed bølglængde. De to aperturer sørger for at kollimere neutronstrålen inden den rammer prøven. Efter at have passeret prøven og være afbøjet opsamles neutronerne på den positionsfølsomme detektor.

Borkarbiderne er relativt stærke type-II superledere med $\kappa = 6 - 15$ og kritiske temperaturer op til 17 K. Det er for RE = Dy, Ho, Er og Tm at man ser sameksistensen af superledning og magnetisme. Magnetismen stammer fra ordningen af momentet fra de sjældne jordarters lokaliserede $4f$ -elektroner. Ligeledes vist i figur 2 er et foto af en borkarbid prøve, der illustrerer hvordan krystallerne gror som plader med c -aksen parallelt med den tynde retning. Opdagelsen af borkarbiderne var som en gave til de eksperimentelle fysikere, idet man nu kunne studere den fundamentalt interessante sameksistens imellem superledning og magnetisme, i seks forskellige systemer med nærliggende, men dog forskellige egenskaber. En fyldigere introduktion til de superledende borkarbider kan f.eks. findes i Physics Today [2].

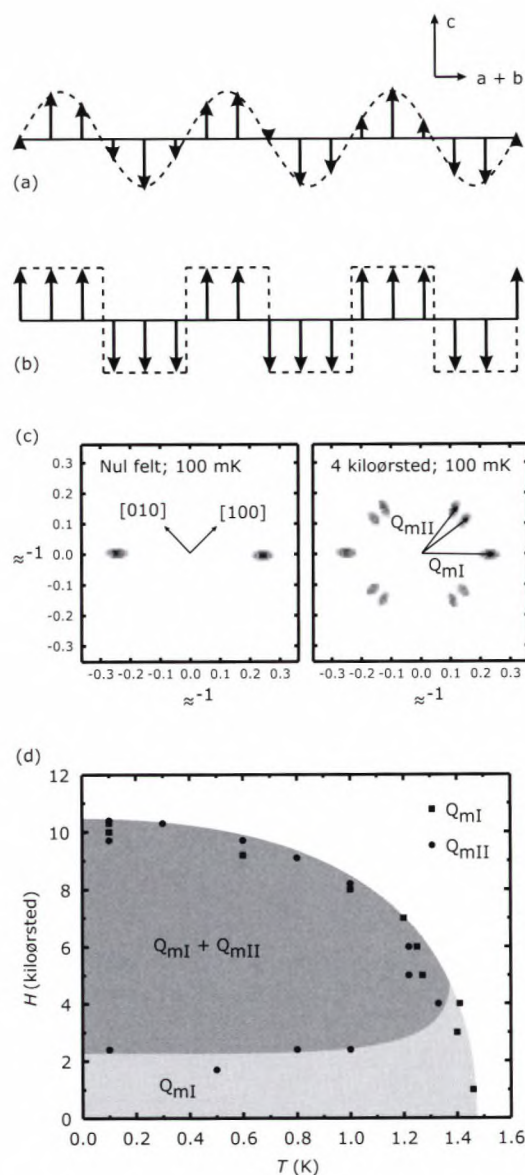
Eksperimentelle metoder til fluxliniestudier

Fluxliniegitteret kan studeres eksperimentelt med mange forskellige teknikker, som hver især har deres fordele og begrænsninger. Her vil vi blot diskutere tre metoder som har vundet bred udbredelse, og der er altså ikke tale om en udtømmende gennemgang. Før vi kommer ind på de enkelte metoder er det dog værd at gøre nogle generelle overvejelser, i det væsentlige er relateret til to forhold. Det første er hvilken fysisk størrelse den givne teknik er følsom overfor. Det kan enten være den magnetiske feltfordeling omkring fluxlinierne, eller undertrykkelsen af den superledende tilstand i centeret af fluxlinierne. Da disse størrelser varierer på forskellige længdeskalaer (hhv. λ og ξ) giver det også en forskel i den naturlige opløsning der kan opnås med de forskellige metoder, hvilket igen sætter en øvre begrænsning for feltstørrelsen. Det andet er om der er tale om en lokal teknik som kan give et rumligt billede af fluxlinierne og f.eks. kan kortlægge defekter i fluxliniegitteret, eller om det er en teknik som belyser hele prøven på en gang og derved giver en midling over mange fluxlinier velegnet til at bestemme eksempelvis fluxliniegitterets symmetri.

Den mest direkte visualisering fås vha. deko-
rationsteknikken, hvor magnetiske nanopartikler deponeres på overfladen af superlederen der hvor fluxlinierne skærer denne. Efterfølgende kan disse jernpartikler afbildes ved brug af et skanning elektron mikroskop (SEM) som det er vist i figur 3. Denne teknik er begrænset til relativt lave felter på op til få hundrede ørsted, da opløsningen forsvinder så snart feltet omkring de enkelte fluxlinie har blot et begrænset overlap.

En anden lokal teknik er skanning tunnel mikroskopi og spektroskopi (STM/STS). Her flyttes en mikroskopisk nål henover prøvens overflade og måler direkte det elektroniske spektrum. I denne teknik er det hhv. tilstedeværelsen eller fraværet af det superledende gab som gør det muligt at skelne imellem superledende og normale områder og dermed afbilde fluxlinierne.

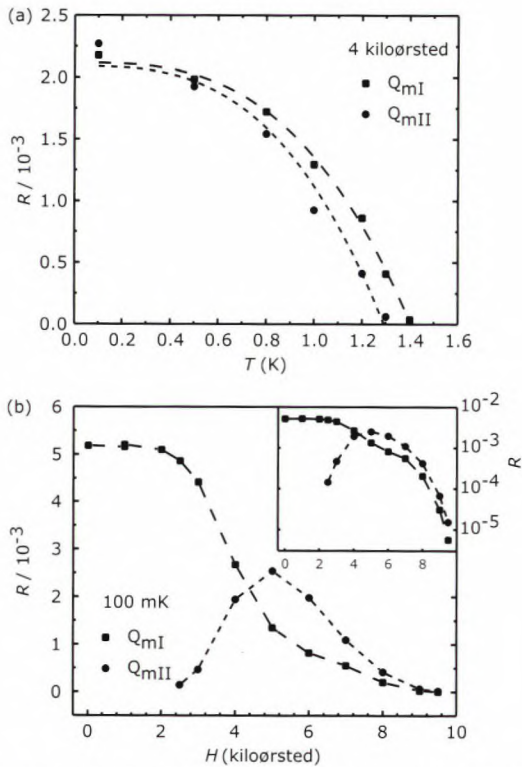
Denne teknik kan bruges helt op til det øvre kritiske felt, men er begrænset nedadtil til nogle få kilørsted af det forholdsvis begrænsede skanområde. Yderligere kræver denne metode en høj kvalitet af prøveoverfladen både med hensyn til homogenitet og topografi.



Figur 5. Magnetisme i $TmNi_2B_2C$. Øverst i (a) og (b) er vist hvorledes de magnetiske momenter varierer langs basalplanens diagonal, se også figur 2. Den magnetiske struktur er vist både lige under $T_N = 1.5$ K (a) hvor momenterne er moduleret og ved lave temperaturer < 1 K (b) hvor momenterne er "kvadreret op" og alle har samme størrelse. I figur (c) er diffraktionsmønstre optaget på den positionsfølsomme detektor ved 100 mK i hhv. nul og 4 kilørsted påtrykt felt. Ved nul felt ses kun reflektioner svarende til Q_{mI} . Ved 4 kilørsted ses yderligere reflektioner ved Q_{mII} placeret symmetrisk omkring [100], [010], $[\bar{1}00]$ og $0\bar{1}0$. Af praktiske årsager registreres der ikke reflektioner ved $Q_{mII} \parallel [110]$ og $[\bar{1}\bar{1}0]$. I fasediagrammet (d) er vist hvor de forskellige magnetiske reflektioner observeres. Firkanter og cirkler viser hvor respektivt Q_{mI} og Q_{mII} forsvinder.

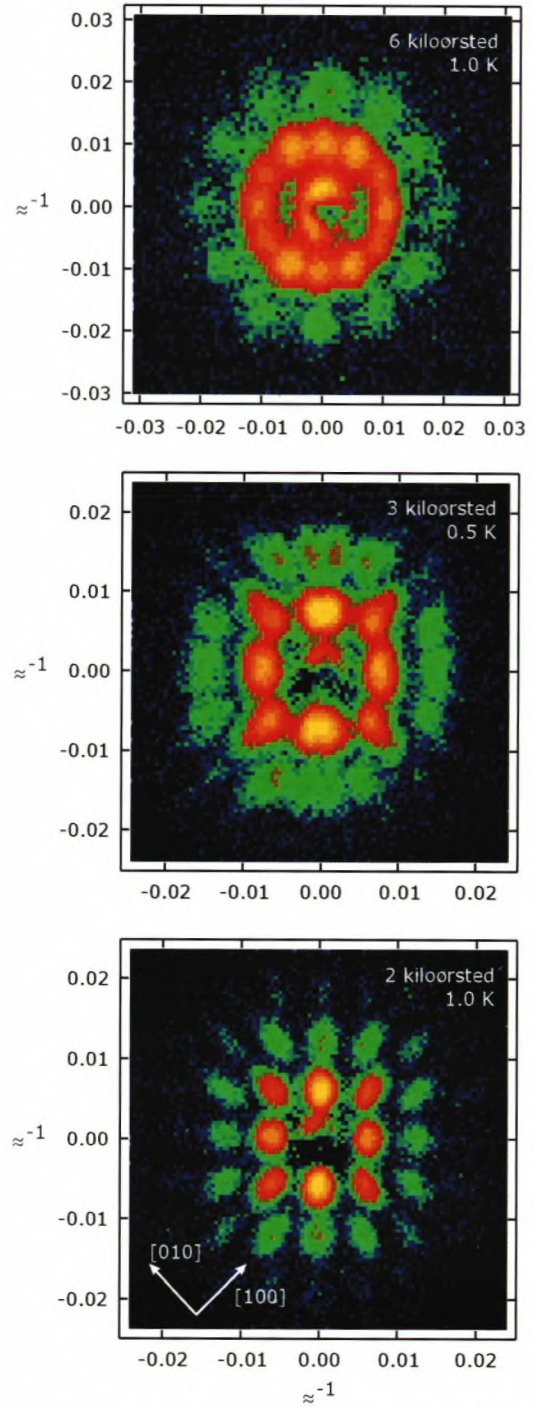
Småvinkel neutronspredning

En teknik som overkommer mange af begrænsningerne nævnt ovenfor er småvinkel neutronspredning (SANS = small angle neutron scattering). SANS spektrometeret på Forskningscenter Risø er vist skematisk i figur 4. Denne teknik udnytter at neutronerne besidder et magnetisk moment og derfor spredtes af det rumligt variende magnetfelt som er genereret af fluxliniegitteret eller af de ordnede magnetiske ioner. Der er altså her mulighed for at slå to fluer med et smæk og studere både fluxliniegitteret og den magnetiske orden samtidig. Da neutronerne, som vi her benytter kvantemekanikkens dualitetsprincip til at opfatte som bølger, spredes på samtlige fluxlinier (eller magnetiske ioner) opnår vi implicit en midling over hele prøven, som fører til dannelsen af diffraktionsmønstre som illustreret i figuren på Kvants forside. Netop dette, at der er tale om koherent spredning, leder dog også til en begrænsning idet det kræver en velordnet fordeling af spredere (fluxlinier eller magnetiske momenter) for at opnå de skarpe toppe i diffraktionsmønstret.



Figur 6. Reflektivitet (intensitet) af de magnetiske refleksioner ved Q_{mI} og Q_{mII} (se figur 5) versus temperatur (a) og påtrykt felt (b).

Da der er tale om diffraktion, flyttes beskrivelsen af systemet fra det direkte rum over i det såkaldte reciprokke rum. Transformationen er en simpel matematisk øvelse. Hvis sprederne i det direkte rum befinder sig i positioner udspændt ved tre basis vektorer $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$ og $\mathbf{c}$, vil refleksionerne dukke op i det reciprokke rum i positioner givet ved $\mathbf{Q} = h\mathbf{a}^* + k\mathbf{b}^* + l\mathbf{c}^*$, hvor h , j og k



Figur 7. Tre forskellige symmetrier af fluxliniegitteret i TmNi₂B₂C. De tre symmetrier er observeret ved forskellige styrker af det påtrykte magnetfelt: Øverst 6 kiloørsted (hexagonalt), i midten 3 kiloørsted (rhombisk) og nederst 2 kiloørsted (kvadratisk). Orienteringen i forhold til krystalakserne er vist nederst.

er hele tal og

$$\mathbf{a}^* = 2\pi \frac{\mathbf{b} \times \mathbf{c}}{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \times \mathbf{c}}$$

$$\mathbf{b}^* = 2\pi \frac{\mathbf{c} \times \mathbf{a}}{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \times \mathbf{c}}$$

$$\mathbf{c}^* = 2\pi \frac{\mathbf{a} \times \mathbf{b}}{\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \times \mathbf{c}}.$$

For fluxliniegitterets vedkommende bliver situationen endnu simplere da det er et kvasi-todimensionalt system. Her er det direkte og det reciprokke rum relateret ved en simpel 90° drejning og omdøbning af akserne. Ser man således et kvadratisk diffraktionsmønster kan man være sikker på at fluxliniegitteret er kvadratisk. Spredningsvinklen, 2θ , er bestemt af længden af spredningsvektoren samt den valgte neutronbølgelængde, λ_n , og er givet ved Braggs lov, $Q = 4\pi/\lambda_n \sin \theta \approx 2\pi/\lambda_n 2\theta$. Den sidste approksimation er gyldig for små spredningsvinkler, hvilket jo per definition er opfyldt for SANS. Som eksempel kan man tage fluxliniegitteret induceret af et felt på en kiloørsted. Hvis vi antager at der er tale om et kvadratisk fluxliniegitter, finder man let $Q = 2\pi/a_0 = 2\pi/1400 \text{ \AA}$. En stor fluxlinieafstand giver altså kort spredningsvektor og dermed små spredningsvinkler. Med en bølgelængde på 9 Å bliver spredningsvinklen $2\theta = 0.4^\circ$.

Ud fra SANS målinger kan en lang række af fluxliniegitterets og dermed superlederens egenskaber bestemmes. Fra diffraktionstoppenes placering og udstrækning bestemmes fluxliniegitterets symmetri og korrelation (velordnethed). Ved at måle reflektiviteten, dvs. antallet af spredte neutroner, kan man få oplysninger om feltfordelingen omkring hver fluxlinie og derved bestemme både korrelationslængden, ξ , og indtrængningsdybden, λ . Når disse parametre er kendt kan Ginzburg-Landau parameteren, κ , samt de kritiske felter, H_c , H_{c1} og H_{c2} , udregnes vha. udtrykkene i afsnit II. I næste afsnit skal vi se eksempler på fluxliniegitter og magnetiske målinger.

Resultater - $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$

På Forskningscenter Risø har vi i samarbejde med kolleger fra bl.a. USA udført systematiske småvinkel neutronspretningsstudier af fluxliniegitteret i bor-karbid superlederne. Som resultat af disse studier er en række nye effekter opdaget. Nogle af disse viste sig at være relateret direkte til samspillet imellem superledning og magnetisme, mens andre var mere generelle.

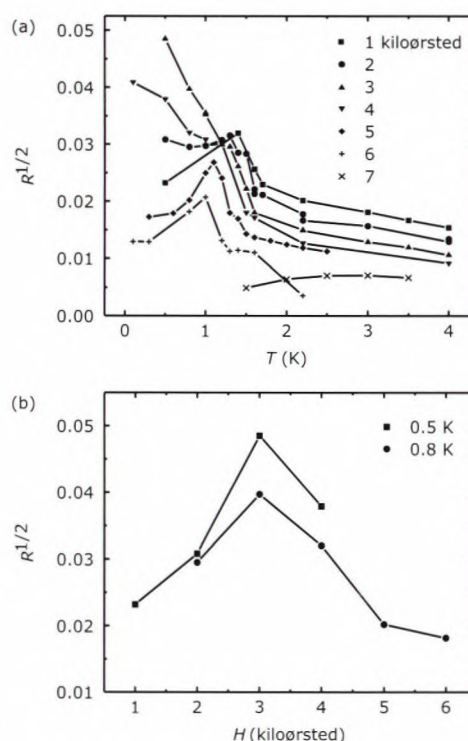
Vi har valgt at præsentere et enkelt eksempel, der klart demonstrerer vekselvirkningen imellem superledning og magnetisme. Resultaterne blev opnået på $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ som bliver superledende ved $T_c = 11 \text{ K}$ og ordner antiferromagnetisk ved $T_N = 1.5 \text{ K}$. Den magnetiske struktur er en transvers polariseret spinbølge med en forholdsvis lang periode på 26 Å vist i figur 5a. Ved lave temperaturer "kvadrerer" momenterne, der er parallelle med krystallens c -retning, op så alle får den samme længde som illustreret i figur 5b.

Netop for dette valg af sjældnen jordart, thulium (Tm), fandt vi samtidige ændringer i struktur og sym-

metri af både den magnetiske orden og fluxliniegitteret, og ændringer i magnetfeltfordelingen omkring de enkelte fluxlinier ved de magnetiske overgange.

Magnetisme

Som konsekvens af den magnetiske strukturs meget lange periode i $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$, er det muligt at studere denne vha. småvinkel neutronspretning, blot ved at ændre lidt på spektrometerets opsætning (husk at store strukturer giver små vinkler). Som vi skal se i det følgende viste det sig at være meget beejligt at kunne studere både magnetisme og superledning med den samme forsøgsopstilling, og dermed under identiske forhold.



Figur 8. Reflektivitet af fluxliniegitteret i $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ versus temperatur (a) og påtrykt felt (b). I begge tilfælde ses et klart maksimum i intensiteten når man krydser en magnetisk faseovergang.

Oprindeligt var det blot meningen at benytte de magnetiske refleksioner til at bestemme prøvens misorientering i forhold til retningen af det påtrykte felt. Imidlertid fandt vi at den magnetiske struktur undergik en ændring når det påtrykte felt oversteg 3 kiloørsted. Dette er vist i figur 5c hvor man ser to forskellige diffraktionsmønstre fra den magnetiske struktur afhængigt af feltstyrken. Under 3 kiloørsted ses refleksioner ved ordningsvektoren $\mathbf{Q}_{\text{mI}} = 0.094(\mathbf{a}^* + \mathbf{b}^*)$ svarende til den magnetiske struktur beskrevet ovenfor. Bemærk at de to refleksioner i top og bund er fraværende af praktiske årsager.

Idet feltet hæves over 3 kiloørsted skifter billedet, og nye refleksioner med spredningsvektor $\mathbf{Q}_{\text{mII}}$ dukker op

og undertrykker delvist Q_{ml} . I forhold til Q_{ml} er Q_{mII} ca. 22% kortere og samtidig er de nye refleksioner placeret symmetrisk omkring [100]-retningen og splittet ca. 15° . Det faktum at disse nye refleksioner ikke ligger direkte på en højsymmetriretning havde gjort dem svære at finde med et traditionelt treakse spektrometer.

Ved at måle intensiteten af refleksionerne ved hhv. Q_{ml} og Q_{mII} ved forskellige felter og temperaturer kunne vi konstruere det magnetiske fasediagram vist i figur 5d. Man kan se at den metamagnetiske (felt-drevne) faseovergang er næsten uafhængig af temperaturen. For fuldstændighedens skyld skal det nævnes at den magnetiske struktur som giver anledning til Q_{mII} endnu ikke er bestemt.

Temperatur- og feltafhængigheden af intensiteten ved Q_{ml} og Q_{mII} er vist i figur 6. Øverst er temperaturafhængigheden ved et påtrykt felt på 4 kiloørsted, hvor det ses at reflektiviteten for både Q_{ml} og Q_{mII} går til nul ved en veldefineret temperatur på hhv. 1.4 og 1.3 K. Nederst i figur 6 er feltafhængigheden ved 100 mK. Intensiteten af Q_{ml} -refleksionen er konstant op til 2 kiloørsted, hvor den begynder at falde samtidig med at Q_{mII} dukker op og bliver kraftigere. Ved højere felter falder begge intensiteter meget langsomt, som det ses af den indsatte figur hvor de samme data er vist på en logaritmisk skala. Dette gør det svært at definere præcis hvornår de magnetiske refleksioner er forsvundet, og den øverste grænse i fasediagrammet i figur 5d er da også behæftet med en vis usikkerhed.

Fluxliniegitterets symmetri

Lad os nu vende tilbage til fluxliniegitteret, og se hvad der sker med dette når vi bevæger os rundt i det magnetiske fasediagram. I første omgang vil vi koncentrere os om symmetrien af fluxliniegitteret.

I figur 7 er vist diffraktionsmønstre for fluxliniegitteret induceret af et påtrykt felt på 2, 3 og 6 kiloørsted. I borkarbiderne ses oftest et kvadratisk fluxliniegitter, stabiliseret af fluxliniernes vekselvirkning via den tetragonale krystal- og elektronstruktur. Ved det laveste felt finder vi da også netop et kvadratisk fluxliniegitter. Men hæves feltet blot 1 kiloørsted ses en tydelig rhombisk forvridning af fluxliniegitteret. Det skal bemærkes at diffraktionsmønstret nu indeholder refleksioner fra to domæner som er orienteret vinkelret på hinanden. Det kvadratiske fluxliniegitter har samme symmetri som krystallens basalplan og orienteringen med enhedscellens langs den krystallografiske [100] retning er derfor ikke degenereret. På grund af det rhombiske fluxliniegitters lavere symmetri har det to ækvivalente orienteringer, svarende til at den kvadratiske enhedscelle er blevet strakt langs en af de to forskellige diagonaler. Dette giver anledning til domæner med to forskellige orienteringer, men stadig med enhedscellediagonalen orienteret langs enten [100] eller [010]. Ser man på vinklen imellem de to domæner finder man et split på 15° . Sammenfaldet imellem splittet i den feltin-

ducerede magnetiske struktur og i de to fluxliniegitter domæner indikerer at de to ting enten er relateret, eller at de i det mindste er drevet af den samme underliggende mekanisme.

Hæves feltet yderligere antager fluxliniegitteret en hexagonal symmetri som vist øverst i figur 7. Denne anden symmetriændring foregår ved en omlejring af fluxliniegitteret så det nu er orienteret med diagonalen langs [110] eller $[1\bar{1}0]$. I modsætning til den rhombiske forvridning ved lavere felter som er kontinuert, er der her tale om en første ordens faseovergang.

Begge symmetritransformationer var overraskende, idet de er i kontrast til opførslen i de andre borkarbider. For begges vedkommende må de enten skyldes ændringer i den elektroniske anisotropi i planen vinkelret på det påtrykte felt hvor de superledende skærmsstrømme løber, eller i rækkevidden af fluxliniernes vekselvirkning.

Fluxliniegitterets reflektivitet

Lad os nu vende os imod reflektiviteten af fluxliniegitteret. I figur 8 er kvadratroden af reflektiviteten afbildet som funktion af både felt og temperatur. Reflektiviteten er bestemt af den rumlige variation af magnetfeltet, som er den kontrast som neutronerne spredes på, og afhænger i første approximation alene af indtrængningsdybden:

$$\sqrt{R} \propto \frac{1}{\lambda^2}.$$

I Ginzburg-Landau teorien er kvadratet på indtrængningsdybden omvendt proportionalt med den reducerede temperatur

$$\lambda^2 \propto (1 - T/T_c)^{-1},$$

når vi er tæt på T_c , og $\sqrt{R}$ skal derfor have en lineær temperaturafhængighed. Temperaturafhængigheden i figur 8a viser vi da også en lineær opførsel når $T > T_N = 1.5$ K. Under denne temperatur finder vi dog en kraftig stigning og et maksimum i reflektiviteten. For påtrykte felter på 3 og 4 kiloørsted vedbliver reflektiviteten endda med at stige til den lavest målte temperatur. Ser vi på figur 8b hvor reflektiviteten er afbildet versus felt for to forskellige temperaturer, bliver systematikken dog klar. Vi ser at der er et maksimum i reflektiviteten hver gang vi kryder en magnetisk faseovergang, enten når temperaturen sænkes under $T_N(H)$ eller når feltet øges forbi den metamagnetiske overgang.

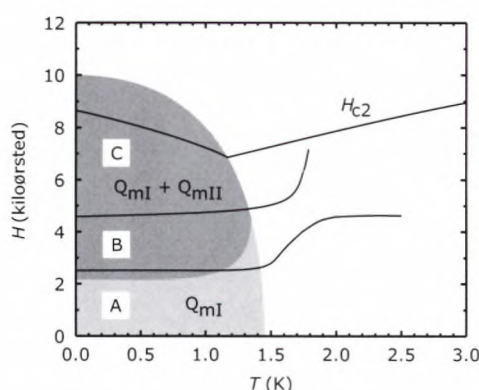
Vi kan forklare det observerede maksimum i reflektiviteten hvis vi antager at det, tæt på de magnetiske overgange, er muligt at polarisere de magnetiske momenter inden de ordner fuldstændigt. Det vil give anledning til en maksimum i susceptibiliteten, χ , og dermed en forkortelse af indtrængningsdybden,

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{1 + 4\pi \chi}.$$

Dette er intuitivt klart da polariseringen af momenterne betyder at de bidrager med en magnetisk flux, og de superledende skærmstrømme omkring hver fluxlinie behøver således ikke løbe i så stor en radius for at generere et fluxkvantum. Maksimet i reflektiviteten er altså et direkte bevis på hvorledes superledningen er påvirket af magnetismen.

Kombineret fasediagram

For at sammenfatte vores resultater for $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ er det magnetiske fasediagram og fluxliniegitterets symmetri kombineret i figur 9 i et fælles fasediagram. Her er sammenfaldet imellem den metamagnetiske faseovergang og fluxliniegitterets symmetritransformation fra kvadratisk (A) til rhombisk (B) tydelig. Endvidere har vi ledt efter effekter af temperatur- og felt-historie, og fundet at splittet af den magnetiske refleksion ved Q_{mII} udviser hysteresi i forbindelse med fluxliniegitterets transformation fra rhombisk til hexagonal (C).



Figur 9. Fasediagram for $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ indeholdende både magnetiske og fluxliniefaser. De magnetiske faser er vist med forskellig gråskravering. Linierne angiver grænserne imellem fluxliniegitterets forskellige symmetrier: kvadratisk (A), rhombisk (B) og hexagonal (C).

Alt i alt vidner resultaterne præsenteret ovenfor om en intim vekselvirkning imellem de superledende og magnetiske egenskaber af $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$. For nærværende har vi ikke nogen dybtgående forståelse af disse fænomener, udover de simple betragtninger beskrevet ovenfor.

Sammenfatning

En mere dybtgående præsentation og diskussion af studierne af fluxliniegitteret i de superledende borkarbider kan findes i reference [3, 4]. Det har været fantastisk spændende een efter een at studere de superledende borkarbider og iagttage fluxliniegitterets opførsel. Foran ligger nu arbejdet med at overføre vores empiriske forståelse til en mere detaljeret teoretisk forståelse af de magnetiske superledere, og mange af de opnåede resultater har da endnu heller ikke fundet en teoretisk forklaring, eller er kun forstået på et kvalitativt niveau. Efterhånden som teoretiske forklaringer fremkommer må yderligere forsøg afklare gyldighe-

den af disse. Karakteristisk for de resultater vi har opnået, hvoraf nogle er præsenteret i denne artikel, er dog at de tager udgangspunkt i studier af den superledende fase, og de effekter som magnetismen har på denne. For nylig har vi også forsøgt at tage det modsatte udgangspunkt, og se på magnetismen og hvordan den er påvirket af superledningen. Foreløbige resultater af dette arbejde kan findes i reference [5].

Nogen samlet konklusion på dette indlæg kan derfor ikke gives, og det må derfor blot afsluttes med et "fortsættelse følger . . ."

Referencer:

- [1] P. Hedegård (1991) "Forenede elektroner A/S: Om superledning og kvanteteori", Munksgaard (København); se roemer.fys.ku.dk/Nysyn/forenede.html.
- [2] P. C. Canfield, P. L. Gammel og D. J. Bishop (1998) "New Magnetic Superconductors: A Toy Box for Solid-State Physicists", Physics Today, bind 51 okt. udg. side 40.
- [3] M. R. Eskildsen m.fl. (1998) "Intertwined symmetry of the magnetic modulation and the flux line lattice in the superconducting state of $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ ", Nature, bind 393, side 242.
- [4] M. R. Eskildsen, (1998) "Small Angle Neutron Scattering of the Flux Line Lattice in the Borocarbide Superconductors", Ph. D. afhandling, Risø-R-1084; se www.risoe.dk/risepubl/FYS/ris-r-1084.htm.
- [5] K. Nørgaard m.fl. (2000) "Interdependence of Magnetism and Superconductivity in the Borocarbide $\text{TmNi}_2\text{B}_2\text{C}$ ", Phys. Rev. Lett., bind 84 side 4982.

Note efter artiklens indsendelse: "Den 28. september i år besluttede Risøs ledelse definitivt at lukke reaktoren DR3 på grund af tekniske problemer. Den videre udvikling af neutronspreddning i Danmark er i skrivende stund ikke afklaret."



Morten Ring Eskildsen er Post. Doc. ved Université de Genève, hvor han studerer superledning og dens vekselvirkning med magnetisme vha. neutronspreddning og skanning-tunnel-mikroskopi og -spektroskopi.



Niels Hessel Andersen er programleder for magnetisme og superledning i Afdelingen for Materialers Fysik og Kemi, Forskningscenter Risø.

ESS – fremtidens neutronkilde

Kim Lefmann, Afd. for Materialers Fysik og Kemi, Forskningscenter Risø.

ESS er en forkortelse for European Spallation Source, og er en planlagt europæisk neutronkilde til forskningsformål. ESS er formentlig det kommende årtis største europæiske forskningsprojekt, et projekt der vil være til stor nytte for forskningen indenfor fagområder, der spænder fra "drug design" over materialeforskning til energi- og datalagring. Projektet har støtte fra de fleste EU lande. Styregruppen, ESS Council, består af repræsentanter for 13 institutioner i 11 europæiske lande: Belgien, Danmark, Frankrig, Holland, Italien, Schweiz, Spanien, Storbritannien, Sverige, Tyskland og Østrig. Man er i gang med at opføre to tilsvarende kilder i Verden: en i USA og en i Japan, men behovet for sådanne kilder er langt fra udtømt. ESS er da også projekteret til at blive 3 gange kraftigere end sine "konkurrenter".

ESS-projektet blev påbegyndt i 1993, og befinder sig nu i den sidste del af designfasen. Opførelsen af ESS er endnu ikke bevilget, men ESS Council forventer, at dette vil ske i løbet af 2003. Efter tidsplanen vil ESS stå færdig i 2010 [1]. Dette er virkelig et projekt for fremtidens forskere. Jeg vil i det følgende fortælle, hvorfor ESS bør bygges, hvordan spallationsprocessen virker, og om mulighederne for dansk deltagelse i projektet – herunder om chancerne for, at ESS faktisk bliver opført i Danmark.

Hvad skal ESS bruges til?

Neutronerne fra ESS skal først og fremmest bruges til neutronspreddning. Ved denne teknik sender man neutroner ind på et materiale, hvorfra de spredes, således at man kan måle deres spredningsvinkel og intensitet. Derved får man information om stoffets atomare struktur (Bragg spredning) – eller om store molekylers rumlige form (småvinkelspredning). Endvidere kan man måle neutronernes ændring i energi og derved få information om dynamikken i materialet. F.eks. er sammenhængen mellem impuls og energi af krystallers gittersvingninger (fononer) kortlagt på denne måde.

Neutronspreddning er en meget kraftfuld teknik, som hidtil har været begrænset af mangel på neutronintensitet. På en måde har dette svaret til, at man har forsøgt at male sin lejlighed ved lyset fra en 15 W glødelampe. Det bliver ikke særligt præcist, men bruger man i stedet en 500 W halogenlampe, er det en anden sag. Omtrent sådan er forholdet mellem de bedste nuværende neutronkilder og ESS.

Figuren på Kvants bagside viser "neutronviften" [2]. Billedet illustrerer, hvordan neutronspreddning er blevet udbredt indenfor forskellige videnskabelige områder og problemstillinger igennem de seneste fire årtier, star-

tende med antiferromagnetisme i 1960'erne til proteiner, polymerer osv. i 1990'erne. Ude i "horisonten" kan man ane de nye forskningsområder, der vil kunne studeres med neutronspreddning i fremtiden. Generelt kan man sige, at neutronspreddning nu anvendes indenfor dele af fysik, biofysik, kemi, biokemi og en række ingeniørdiscipliner – men i fremtiden vil det også få stor betydning indenfor geologi, biologi og medicin. Endvidere kan neutrongennemlysning (skyggebilleder) anvendes til industrielle formål og til arkæologisk forskning.

Som modargument mod de nye, kostbare neutronkilder nævnes det ofte, at materialer lige så vel kan studeres med de nye, kraftige røntgenkilder som ESRF i Grenoble. Lad mig fortælle, præcis hvad argumenterne er for overhovedet at bekymre sig om neutronspreddning i fremtiden [3].

* Neutroner kan, som antydnet ovenfor, bruges til at finde ud af, hvor atomerne er, og hvad de foretager sig. Og det indenfor mange størrelsesordener i både tid og rum.

* Neutroner vekselvirker forskelligt med forskellige isotoper af samme grundstof. Det er en af de allervigtigste egenskaber, hvis man vil studere komplicerede biologiske molekyler, fordi man kan "mærke" bestemte kemiske grupper med deuterium (tung brint), og derved vil kunne ses tydeligt i et neutronspreddningseksperiment.

* Neutroner har ingen ladning og vekselvirker kun svagt med stof. Dette lyder umiddelbart som en ulempe, men det gør det muligt at studere materialer, der er anbragt i tykvæggede beholdere, f.eks. beholdere, der bruges til at køle materialet ned til lave temperaturer, udsætte det for et stort tryk, høje temperaturer, eller lignende.

* Den svage vekselvirkning har endnu to fordele: Den gør det let at sammenligne de eksperimentelle resultater med teoretiske beregninger og computermødelles. Dette aspekt vil blive mere og mere vigtigt i de kommende år. Endvidere forårsager neutronstråling – i modsætning til røntgenstråling – meget ringe strålingsbeskadigelse. Dette aspekt kan få stor betydning, f.eks. hvis man ønsker at undersøge levende celler.

* Neutroner har magnetiske momenter. De kan derfor bruges til undersøgelser af magnetiske effekter i materialer. I øjeblikket er studiet af magnetiske fluktuationer i højtemperatur-superledere et særdeles aktivt felt. Disse studier kan kun udføres med neutronspreddning.

Men præcist hvad kan man gøre med ESS, som man ikke kan på de eksisterende neutronkilder? [3]

* Den større intensitet giver mulighed for langt hurtigere målinger. Derved kan man udføre "kinetiske" eksperimenter, hvor man studerer en løbende proces. Det kunne være en kemisk reaktion eller krystallisering af mineraler fra en smelte.

* Det er også muligt at foretage mange korte eksperimenter efter hinanden, hvor man systematisk varierer en række parametre. F.eks. kan man hurtigt opmåle et kemisk fasediagram som funktion af tryk, temperatur, og materialesammensætning.

* Man kan studere mindre prøver. Den store intensitet giver mulighed for at studere nanometer-tynde overfladelag og krystallinske eller biologiske prøver af mikrogram størrelse.

* Man kan studere større prøver! Dette giver mulighed for at studere restspændinger i metaldele med store godstykker, for stål adskillige cm. Dette er af stor interesse for f.eks. flyindustrien.

* Endelig giver den større intensitet mulighed for at lave eksperimenter med langt bedre opløsning, så man kan opnå mere præcise svar på sine spørgsmål.

ESS vil blive en brugerfacilitet. Dette vil sige, at forskergrupper fra Europa og resten af Verden kan ansøge om at få tid på et af de ca. 30 instrumenter ved ESS. Den typiske varighed af et eksperiment vil variere fra få dage til nogle uger. Man regner med 4000-5000 videnskabelige gæster per år, som skal betjenes af et teknisk og videnskabeligt personale på ca. 500 personer.

Hvor kommer neutronerne fra?

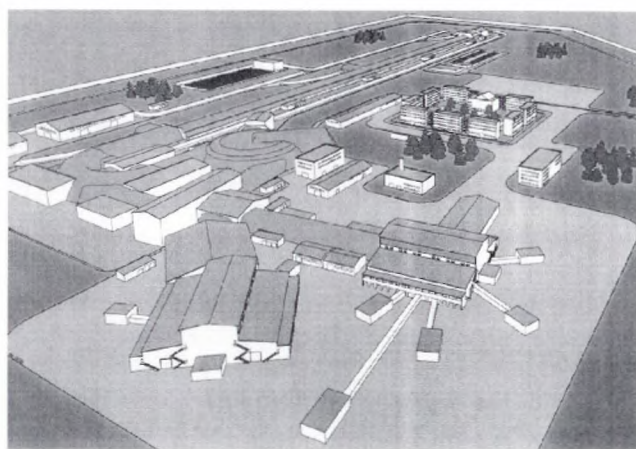
En konventionel neutronkilde er en lille kernereaktor, ombygget eller specielt designet til forskningsformål. Der findes ca. 20 af denne slags reaktorer i Verden, og yderligere to er under opførelse, men de bliver formentlig de sidste. Den "moderne" måde at producere neutroner er ved hjælp af spallation. I en spallationsproces bombarderes et tungt grundstof – "target" – med protoner med meget høj energi, ved ESS 1.3 GeV. Herved slås de tunge kerner i "target" i stykker, og kernerne neutronoverskud – 20 til 30 per atomkerne – bliver slynget ud til alle sider. For at accelerere protonerne op til disse energier vil man benytte en lineær accelerator, der er godt 750 m lang.

Efter produktionen skal neutronerne bremses ned til lave energier, fra 1 eV til 1 meV, for at være nyttige til neutronspreddning. Dette gøres ved at lade neutronerne passere såkaldte moderators, der f.eks. kan bestå af vand eller flydende brint. Neutronerne får herefter en energifordeling, der kan tilnærmes med en Maxwell fordeling i ligevægt med moderatorens temperatur. Til sidst ledes neutronerne ud til de eksperimentelle opstillinger gennem strålerør, hvis overflader kan reflektere neutronerne ved lille indfaldsvinkel.

En meget vigtig fordel ved ESS og tilsvarende spallationskilder er flyvetidsaspektet. På vej fra acceleratoren til "target" bliver protonerne gemt i en lagring.

Herfra bliver de lukket ud i ganske korte pulser, så neutronerne bliver produceret i korte pulser. Ved at måle den tid, der går fra pulsen slippes løs indtil neutronerne rammer detektoren, kan man altså bestemme neutronens energi. Dette er i klar kontrast til kontinuerle kilder, som reaktorer, hvor man må udvælge neutroner med en bestemt energi for at kunne fortolke spredningseksperimenterne. Ved denne udvælgelse mister man imidlertid omkring 99% af de oprindelige neutroner. Dette tab har man ikke i pulsedede spallationskilder.

En foreløbig skitse af ESS kan ses på figur 1, hvor anlægget er vist i sin helhed med accelerator, lagring, 2 "target-stations", med strålerør og instrumenter samt kontorer og gæstebygning.



Figur 1. Skitse af ESS.

Dansk deltagelse i projektet

Den mest synlige danske deltager i planlægningen af ESS er utvivlsomt projektets direktør Kurt N. Clausen, der tidligere har været programleder for neutronspreddning på Risø. Han tiltrådte stillingen ved ESS-projektet i august 2000, og har både før og siden været en yderst flittig fortaler for opførelsen af ESS-faciliteten. Kurt har også deltaget i det indledende arbejde med design af ESS-instrumenter.

Også andre danskere bidrager til projektet. Bente Lebech (Risø) er med til at udvikle germanium analysatorer, som skal bruges til at udvælge neutroner med en bestemt energi. Endvidere er Bente som formand for den danske forening af neutronspreddere, DANSSK [4], med til at bakke op om dansk tilknytning til ESS (se også afsnit 5). Torben Lorentzen (DanStir ApS) og Kell Mortensen (Risø) er med i den arbejdsgruppe, der skal planlægge og designe den første serie af neutroninstrumenter til ESS. Endvidere er en række personer med til at udvikle og bruge et computerprogram [5], der skal simulere – og derved optimere – de planlagte instrumenter. De vigtigste personer er, som sædvanlig når der skal arbejdes, studenter: Stine N. Klausen (Ph.D. DTU og Risø), og Henrik

Edwards (speciale KU), mens Bente Lebech, Per-Olof Åstrand (KU og Risø) og undertegnede også bidrager. Endvidere har Risøs direktør Jørgen Kjems indtil 1999 været formand for ESS Council.

Efterhånden som ESS projektet skrider frem vil det kræve mere og mere videnskabelig arbejdskraft. Fra dansk side forventer vi at fortsætte vores indsats inden for instrumentdesign og -simulering. Endvidere bliver udvikling af software til at fremvise og tolke de enorme datamængder fra et typisk ESS eksperiment, en af de helt store udfordringer for fremtidens neutronsprede. Der kan her være tale om datamængder fra adskillige Gigabytes til nogle få Terabytes. Her kan Danmark komme til at spille en ikke ubetydelig rolle, men denne opgave skal ikke varetages alene af Forskningscenter Risø, hvis strategi ikke sigter mod en massiv indsats med en tidshorisont på 10 år eller mere. Indenfor få år må den danske deltagelse i ESS blive en national opgave på linie med vores engagement i CERN, ESA m.fl.

Skal ESS opføres i Øresundsregionen?

Det er endnu ikke afgjort, hvor ESS skal opføres. Denne beslutning tages først i 2003. Der er allerede stillet forslag om ISIS (ved Oxford, England), Jlich (ved Aachen, Tyskland), og et sted i Frankrig. Imidlertid er der for nylig stiftet en forening af nordiske forskere, ESS-Scandinavia, som vil promovere Øresundsregionen som et muligt sted at placere ESS [6]. Foreningens bestyrelse består fra dansk side af Kell Mortensen (Risø), Martin Vigild (DTU), og undertegnede, og fra svensk side af Robert McGreevy (Studsvik), Lars Börjesson (Chalmers) og Börje Johansson (Uppsala).

Det bliver ikke gratis at huse ESS! Selve opførelsen er budgetteret til 10 milliarder kroner, hvilket svarer til halvdelen af Øresundsbroens pris. Heraf skal ca. 40% betales af værtslandet. Altså skal de danske og svenske statskasser hver betale 2 milliarder kroner for at placere ESS i Øresundsregionen. Dette er utroligt mange penge at give ud, men økonomisk og samfundsmæssigt vil der næsten helt sikkert komme valuta for pengene, både på grund af den store tekniske og videnskabelige betydning, anlægget vil få, og på grund af den generelle økonomiske gevinst det er at huse en så stor installation. På en måde kan det sammenlignes med, at København og Malmö ville få tildelt værtskabet for OL i 2012.

Det bliver en svær proces at få de danske og svenske regeringer overbevist om, at de skal gå med på denne ide. Fra bestyrelsen i ESS-Scandinavia arbejder vi lige nu på at informere om projektet, så det kan komme på den politiske dagsorden senest i 2002. Det er nødvendigt for at Øresundsregionen kan stå som officiel ansøger senest i januar 2003. Det bliver ikke let, men vi vil gøre alt hvad vi kan for at det skal lykkes. Dertil behøver vi selvfølgelig opbakning fra de videnskabelige miljøer i de to lande.

Selvom det ikke skulle lykkes at blive vært for ESS, vil ulejligheden ikke være spildt, for videnskab

kan jo også drives i udlandet. Det vigtigste formål med foreningen ESS-Scandinavia er da også at sikre nordiske neutronbrugeres adgang til ESS, uanset placering.

Referencer:

- [1] ESS projektets hjemmeside: www.ess-europe.de. Se også www.hmi.de/bereiche/SF/ess/ess_00_en.html
- [2] ESS: A Next Generation Neutron Source for Europe, Volume 1, ESS Council 1997, ISBN 090 237 6 500.
- [3] Listen er forfattet af R. McGreevy, Neutron Forsknings Laboratoriet, Studsvik, Sverige.
- [4] DANSSK hjemmeside: www.fys.risoe.dk/public/BenteLebech/danssk
- [5] Hjemmesiden for Risø's simuleringsprogram, McStas: neutron.risoe.dk
- [6] ESS-Scandinavia hjemmeside: www.studsvik.uu.se



Kim Lefmann,
(kim.lefmann@risoe.dk) er
seniorforsker i Afdelingen for
Materialers Fysik og Kemi på
Forskningscenter Risø.

Breddeopgave nr. 4

af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter.

I oktober-nummeret af KVANT blev løsningen til breddeopgave nr. 3, "Hvor hurtigt roterer en tørretumbler? Begrund svaret.", givet i form af en udfoldning af opgaven. Som et af midlerne til for de fysikstuderende på RUC at tydeliggøre, hvad det er for en slags bolde, der gås efter i en undervisning bygget på åbent formulerede breddeopgaver, har jeg som nævnt i oktober-nummeret for kontrastvirkningens skyld lavet et sæt udfoldede og formaliserede opgaver, der modsvarer 12 af breddeopgaverne. Og tørretumbleropgaven er den ene af disse 12 opgaver med modsvarende udfoldede versioner. Som breddeopgave nr. 4 bringes her en af de andre i sættet:

Hvor mange gange større er strømforbruget om vinteren af en dybfryser placeret i køkkenet fremfor i udhuset? Begrund svaret.

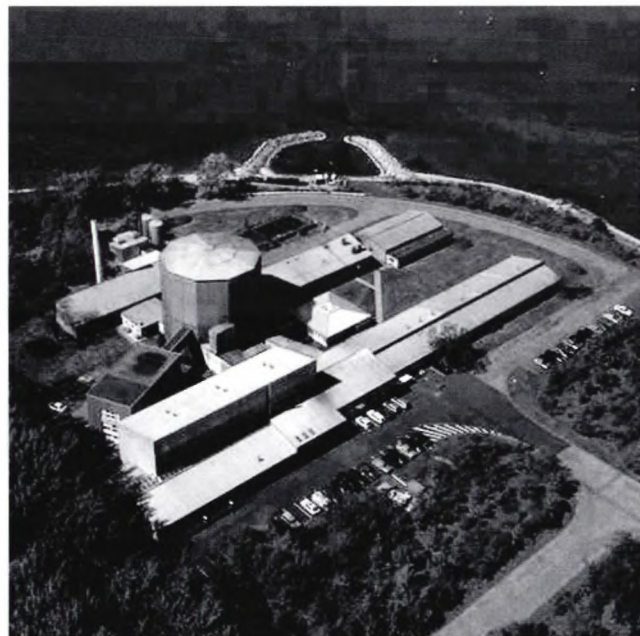
I næste nummer bringer vi den udfoldede version af opgaven, der findes som det afgørende skridt i løsningen af den, sammen med en kommentar.

Risø's DR3 reaktor taget ud af drift for bestandig

Bente Lebech, Afd. for Materialers Fysik og Kemi, Forskningscenter Risø.

Torsdag den 28. september 2000 var en trist dag for dansk naturvidenskabelig forskning, specielt for den del der er baseret på neutronspreddningsteknikker. På et morgenmøde fortalte Risø's direktør, Jørgen Kjems, at Risø's bestyrelse havde godkendt direktionens anbefaling om at tage den 40 år gamle 10 MW forskningsreaktor DR3 ud af drift for bestandig [1]. Reaktoren var allerede tidligere på året blevet stoppet, fordi man mente, at det var nødvendigt at lave en gennemgribende undersøgelse af reaktortanken. Undersøgelsen, der blev udført af FORCE Institutet, var nu afsluttet med en rapport, der viser, at der er begyndende tæring med behov for yderligere undersøgelser. På dette grundlag konkluderede Risø's direktion og bestyrelse, at udbyttet ved videre drift af reaktoren ikke stod i rimeligt forhold til de nødvendige omkostninger ved at holde dens tekniske tilstand på et fortsat højt niveau, specielt set i lyset af, at reaktorens levetid og internationale konkurrencedygtighed på sigt under alle omstændigheder var begrænset.

Dette betyder afslutningen på en videnskabelig epoke, der startede i de tidlige 1960'ere, hvor forskere i den daværende Fysikafdeling på Risø erkendte at et guldåbale, DR3 reaktoren, var landet i deres hænder. På det tidspunkt var dansk faststoffysik endnu i sin vorden, mens kernefysik var en veletableret og livskraftig naturvidenskabelig aktivitet. Derfor blev et af de første eksperimenter, der udnyttede neutronstrålerne fra DR3 reaktoren da også "Neutronlevetidsforsøget", et giganteksperiment, der strakte sig over mere end 10 år og resulterede i en neutron halveringstid på 10.61 ± 0.16 minutter, et tal der fortsat tæller med i "verdensgennemsnittet" [2, p. 197]. 1960'erne og 1970'erne var en blomstringstid for de faststoffysiske aktiviteter omkring DR3. Nye ideer til eksperimenter og instrumenter blev fostret og modnet i et livligt samspil mellem danske og udenlandske forskere. Verdenskendte forskere kom ofte og gentagne gange til Risø og var med til at sætte dansk faststoffysik på verdenskortet. Blandt de forskningsområder der kan knyttes til pioner aktiviteterne ved DR3, skal her kun nævnes to. Det ene område er de detaljerede undersøgelser af magnetisk orden og spinbølger i sjældne jordartsmetaller, der har givet betydningsfuld viden om hvorfor metaller og legeringer i magnetisk henseende opfører sig på så mange forskellige måder [2, p. 474]. Det andet område er en gruppe banebrydende og meget præcise eksperimentelle studier af fase overgange og kritiske fænomener i faste stoffer, der udgør en del af fundamentet for udviklingen af renormalisations gruppeteori [2, p. 475].



DR3 reaktoren på Forskningscenter Risø.

En væsentlig årsag til den positive udvikling af de faststoffysiske aktiviteter omkring DR3 i de første år var naturligvis gode forskningsbudgetter, men hovedårsagen til succesen var den målrettede indsats, hvor eksperimentel fysikere, teoretikere og instrumentbyggere arbejdede tæt sammen og udnyttede Risø's vel fungerende infrastruktur for at opnå de bedst tænkelige resultater. Valget af instrumentpark har altid været selektivt for at passe til det specielle formål. Som eksempler på dette kan nævnes RITA spektrometret, der har været i drift siden 1996 og RITA-II spektrometret, der skulle have været installeret ved DR3 i løbet af december 2000 [3]. Risø's pionerindsats markeredes f.eks. ved at man som de første installerede individuelle computere (PDP-8) på neutronspreddningsinstrumenter på et tidspunkt hvor andre valgte centrale computere med tilhørende ulemper. Man var også blandt de første der optimerede neutronfluksen på måleemnet ved at installere fokuserende monokromatorer af pyrolytisk grafit på alle relevante instrumenter. Ét år brugte man næsten hele budgettet på at gennemføre dette. Den kolde neutronkilde, der kom i drift i 1975 [2, p. 475] og blev fornyet i 1995, spillede også en vigtig rolle i at gøre DR3 konkurrencedygtig med højfluks reaktorerne i Brookhaven, Oak Ridge og Grenoble, fordi den forøgede den kolde neutronfluks med en faktor ti. Neutronkilden, der var udviklet på Risø, var særdeles driftssikker og leverede kolde neutroner til seks af instrumenterne omkring DR3 indtil reaktorens nedluk-

ning.

I slutningen af 1970'erne skiftede forskningen i Risø's Fysikafdeling spor og blev i højere grad fokuseret omkring røntgenspredning ved hjælp af synkrotronstråling. Det var en viis beslutning, dels fordi den endnu engang førte til at Risø's forskere kunne spille en pionerrolle ved at udvikle en ny generation af instrumenter til røntgenspredning med rod i de avancerede neutronspretningsinstrumenter, og dels fordi den gav mulighed for at udforske den nye fysik, der blev tilgængelig med adgangen til de nye kraftige røntgenkilder. Investeringen blev fuldt ud betalt tilbage, og siden da har de to teknikker udviklet sig side om side på Risø og ført til værdifuld forskning og instrumentering ved HASYLAB, ESRF og DR3. I løbet af 1980'erne udviklede neutronspretningsaktiviteterne ved DR3 sig hovedsagelig som samarbejdsprojekter indenfor basal faststoffysik, men også områder indenfor materialeforskning, såsom undersøgelser af tekstur i metaller og in-situ studier af indre spændinger, blev perfektioneret. Aktiviteterne indenfor basal faststoffysik var centreret i Neutronhuset, der nød godt af neutronerne fra den kolde kilde og den lave baggrund. Et af disse projekter var det finsk-tysk-danske samarbejdsprojekt for at bestemme den kernemagnetiske orden i kobber under 50 nano-Kelvin. Det var et ambitiøst projekt, der involverede eksperter i at frembringe ultra-lave temperaturer, dygtige neutronspredere og teoretiske fysikere. Det var samtidigt hårdt arbejde med mange timers forberedelse og korte perioder til dataindsamling, men eksperimentet var en succes og resultaterne er internationalt anerkendte. Det er et samarbejde, der har ført til, at danske forskere har været involveret i tilsvarende eksperimenter på sølv og for nylig været med til at opnå verdens laveste temperatur, 100 pico-Kelvin i metallet rhodium [4]. En anden aktivitet i Neutronhuset var det svensk-danske samarbejdsprojekt, der resulterede i Risø's SANS instrument (småvinkelspredning), der i tidens løb har været brugt effektivt og innovativt til undersøgelser af polymerer, biologiske systemer, magnetisk orden og fluks-linie gitter i nye superledende materialer.

Med de EU sponsorerede programmer LIP, HCM og TMR på DR3, der startede i begyndelsen af 1990'erne, blomstrede neutronaktiviteterne på Risø endnu engang med op til 100 besøgende udenlandske forskere om året. Det betød hårdt arbejde for de relativt få fastansatte Risø medarbejdere, post docs og PhD studerende, men det skabte også en inspirerende og livlig atmosfære – meget lig den man nu finder på ILL og ESRF og fandt på Risø i de første år. Endnu en gang kom ledende

forskere ofte til Risø og deltog i arbejde, der ledte til mange fælles artikler om sjældne jordartsmetaller, "heavy Fermions", "blød fysik" og høj- T_c superledere.

Hvis man ser tilbage, må man konstatere at skønt DR3 ikke har været brugt til det den oprindelig var planlagt til – nemlig reaktor teknologi og kernekraftudvikling – så har den været brugt godt til basisforskning. I fyrrer år har de resultater, der er blevet opnået omkring DR3, givet Danmark anerkendelse langt udover hvad antallet af danske neutronspredere berettiger til. Den faststoffysiske forskning omkring DR3 har tjent det danske samfund vel selv om denne type forskning ikke for tiden prioriteres højt i Danmark. Måske kan afsmitningen til samfundet bedst illustreres ved de 90 artikler om superledning, der er publiceret i internationale tidsskrifter i perioden 1995 til 2000 af en ganske lille gruppe Risø forskere i samarbejde med post docs, PhD studerende og udenlandske forskere. Blandt disse artikler er der 7 artikler i Nature, 1 i Science, 2 i Europhysics Letters og 11 i Physical Review Letters! Med beslutningen om at stoppe DR3 permanent er neutronspredning ikke længere et naturligt element i Forskningscenter Risø's strategi, og 40 års ekspertise indenfor neutronspredning kan gå tabt, hvis man ikke snarest skaber en national strategi for neutronspredning.

Referencer:

- [1] www.risoe.dk/press/06-DR3-lukning.htm
- [2] Henry Nielsen, red., Keld Nilsen, Flemming Petersen og Hans Siggaard Jensen: "Til samfundets tarv – Forskningscenter Risø's Historie", Risø 1998. ISBN 87-550-2380-0.
- [3] K. Lefmann, D. F. McMorro, H. M. Rønnow, K. Nielsen, K. N. Clausen, B. Lake og G. Aeppli: "Added flexibility in triple axis spectrometers: the two RITAs at Risø", Physica B, bind 283 (2000) side 343–354.
- [4] www.risoe.dk/press/06-lav_temperatur_rekord.htm
- [5] www.fys.risoe.dk/public/BenteLebech/danssk/



Bente Lebech, er seniorforsker i Afdelingen for Materialers Fysik og Kemi, Forskningscenter Risø samt formand for DANSSK – Dansk NeutronSprednings Selskab [5].

De to kulturer på ny

Michael F. Wagner, Historiestudiet, Aalborg Universitet.

I 1959 holdt den engelske litterat, naturforsker og embedsmand C.P. Snow en vidt berømt forelæsning med titlen *"Om de to kulturer"*. Problemet for Snow var, at der var opstået en modsætning mellem teknokulturen og magtkulturen, som skabte dybtgående konflikter i det moderne samfund. Den elite af embedsmænd, som bestemte udviklingen i samfundet var humanister som repræsenterede en "finkultur". Til gengæld savnede de enhver indsigt i teknologiske og naturvidenskabelige spørgsmål, hvilket var katastrofalt for samfundets moderniseringsproces, som var baseret på det teknologiske fremskridt.

På den ene side af af kulturkløften stod humaniora og samfundsvidenskaberne i ensom majestæt. Her lå den politiske og økonomiske magt i hænderne på samfundets beslutningstagere. På den anden side af kløften stod teknik- og naturvidenskaben, hvis udøvere skulle føre de en gang trufne beslutninger ud i livet uden at have haft indflydelse på deres udformning. C. P. Snow bød sig til med et noget tåget budskab om at harmonisere modsætningerne mellem teknologi- og samfundsvidenskaberne i en universalvidenskab. Ud af denne universalvidenskab ville der springe en universal-teknokrat, som beherskede begge kulturer i samfundet og dermed herskede over hele udviklingen.

Overordnet set var det Snows budskab, at teknokrati fremfor økonomi skulle være det styrende princip i samfundsudviklingen. Sat lidt på spidsen kan tesen hos Snow formuleres således: er det fornuften eller pengene, der skal styre udviklingen i samfundet. Selvfølgelig vil markeds-liberalister til enhver tid med en vis vægt kunne hævde, at økonomi naturligvis repræsenterer den højeste grad af fornuft som findes i samfundet. Men det var ikke just det, der var meningen med Snows intervention, at samfundet skulle overlade ansvaret for udviklingen til markedskræfterne. Det var nemlig videnskabens klare opgave at styre den moderne udvikling i samfundet, derfor skulle de to kulturer sættes sammen til én [1].

Sputnik-chok i utide

Den kolde Krig skabte utryghed i 1950'erne. Ikke mindst "Sputnik-chokket" et par år før Snow trådte frem havde afsløret en teknologikløft mellem øst og vest, derfor fik hans budskab nu den brede offentlighed til at spidse øren. Kulturkløften var et symptom på, at udviklingen var på katastrofekurs, men årsagen til vestens teknologiske tilbagestående stak langt dybere end våbenkapløbet mellem de to supermagter. Grundlæggende betragtet havde der længe udviklet sig en modsætning mellem "teknoter" og "kul-

tister", som var den træffende betegnelse, Piet Hein ved en anden lejlighed havde givet udøverne af de to kulturer.

Skilsmissen mellem de forskellige videnskaber bliver indledt med romantikkens videnskabssyn, som H.C. Ørsted er førende eksponent for herhjemme. Det sker gennem en fortsat disciplinering og specialisering af de enkelte videnskaber, som underordnes hinanden i et hierarkisk system. Hvilket har medført en videnskabs-teoretisk konstruktion, hvor fysikken har den højeste forklaringskraft i universet, og derfor udøver den øverste autoritet i videnskaben [2].

Spørgsmålet er derfor, om der egentlig var særlig meget nyt om at hente i Snows forelæsning, eller om der ikke snarere var sket en popularisering af et gammelt problem med begrebet de to kulturer. Som direktør for Den polytekniske Læreanstalt havde professor P. O. Pedersen i hvert fald peget på samme problem tredive år tidligere. Det skete da han tillod sig at ventilere en voksende bekymring over polyteknikernes manglende politiske indflydelse i samfundsudviklingen, mens han holdt en festtale ved læreanstaltens 100-års jubilæum i 1929.

Problemet bestod i høj grad i, at polyteknikerne ikke orkede eller gad beskæftige sig med politikken og økonomien, men overlod det til de andre at træffe de nødvendige politiske beslutninger. Hvilket derfor alt for ofte skete på et usagligt grundlag. Sagt med lidt andre ord, var dem der vidste, hvordan tingene skulle laves, sat udenfor indflydelse på, hvad der skulle laves og hvordan tingene skulle bruges. P. O. Pedersen udtrykte fremfor alt ønsket om at sætte mere teknokrati og mindre økonomi til at styre samfundsudviklingen. Det sætter fokus på konteksten mellem videnskabsinterne og -eksterne forhold og problematiserer den politiske rolle, polyteknikerne måske retteligen burde indtage i samfundets moderniseringsproces [3].

P. O. Pedersen mente det dybest set beroede på et oversættelsesproblem, som herskede mellem de to kulturer. Skal man sige det på nudansk betød det, at nogen lavede softwaren, mens andre lavede hardwaren. I fællesskab blev der kun udrettet lidet til stor skade for fremskridtet, som han kunne konstatere det: *"For en stor del hænger det sammen med, at samfundet styres af ord, det talte og det trykte. I teknikkens verden har kun kendsgerningerne vægt. Denne fundamentale sprog-forskel vanskeliggør samarbejdet; men de to parter må lære at forstå hinanden, skal menneskeheden fremtid blive god og lys"*. Dermed kom han meget tæt på C. P. Snows senere og langt mere populære budskab.

Om fænomenet "de to kulturer" kan man altså

konstatere en vis begrebslig rummelighed. Det sammenfatter temmelig mange forskellige og vigtige historiske fænomener i modsætningspar: teknologi-samfund; naturvidenskab-samfundsvidenskab; teknik-politik; teknokrati-økonomi. Det centrale er her at fastholde det flerkulturelle perspektiv. Et perspektiv som indikerer modsatte interesser, konflikter og magtfulde sammenstød mellem forskellige intellektuelle miljøer med historiske konsekvenser for den retning moderniseringen af samfundet skal tage.

Romantikken retur

Kultursammenstødet mellem teknoter og kultister som har forskellige videnskabelige værdisæt, tænkemåder og normer kan følges langt tilbage i historien. Også under den sene enevælde fandtes der forskellige videnskabelige kulturer som varetog egen-interessen overfor almenvellet. På den ene side stod en dannelseskultur med rødder tilbage i oplysningstiden, som ville forbedre håndværkets teknik og praksis. Med romantikken voksede på den anden side en snæver akademisk elitekultur frem, der fokuserede snævert på grundvidensskaben og så udbredelsen af de nye naturvidenskabelige teorier som vejen til fortsat teknologisk fremskridt [4].

De to kulturer profilerede sig ved en vidt forskellig måde at forstå sammenhængen mellem teknologi og samfund på. Lad os derfor dvæle et øjeblik ved den fortid, hvor modsætningen mellem de to kulturer opstod herhjemme. Den historie hænger sammen med de særlige omstændigheder, som gjorde sig gældende da Den polytekniske Læreanstalt blev oprettet i 1829 i guldalderens København. Denne begivenhed medførte et brud mellem de to kulturer i stedet for at føre til den forsoning mellem teori og praksis, der helt i romantikkens ånd var lagt op til fra alle sider.

Oprettelsen af Den polytekniske Læreanstalt skal fra enevældens side ses som led i en samlet strategi, der skulle føre til uddannelsen af et teknisk kyndigt lag af embedsmænd. Det stod eksplicit at læse i den første formålsparagraf, at undervisningen skulle "vorde kandidaterne fortrinlig brugbare til visse grene af statens tjeneste". Opgaven var derfor at udvikle det faglige grundlag for et teknokratisk embedsværk. De teknisk kompetente embedsmænd skulle i første række kunne tage saglig stilling til ansøgninger om eneretsbevillinger, patenter og økonomisk støtte til tekniske studierejser i udlandet.

De nye teknokrater skulle i øvrigt forestå den tekniske side af samfundsudviklingen. Det mente enevælden nemlig ikke, at juristerne havde tilstrækkelig kompetence til at gøre. Til gengæld mente juristerne ikke, at polyteknikerne havde noget som helst at bestille i statsapparatet og bekæmpede deres indtrængen med næb og klør. Her opstod en vaskeægte konflikt mellem teknoter og kultister, som det krævede et hårdt pres fra enevældens side at dæmpe. Det var en konflikt, som fortsatte med uformindsket styrke efter etableringen af

folkestyret med Grundloven i 1849 [5].

De nyuddannede polyteknikere løb også ind i konflikter med en anden profession, som bekæmpede deres fremtrængen i samfundet med næb og klør. Det var håndværkerkulturen, der under enevælden var samlet i en stand. Gennem laugsvæsenet forsvarede håndværkerstanden ihærdigt sine privilegier mod de polyteknikere, som formastede sig til at ville starte en industriel produktion efter moderne principper. Som polyteknisk kandidat nr. 6, Julius Wilkens, der i 1835 søgte privilegium til at drive en klipsømfabrik efter de nyeste engelske principper. Tanken var at trække en jertråd ud og afklippe den mekanisk fremfor ved håndkraft. For at tilstå ham et privilegium krævede Magistraten immervæk aflagt en færdighedsprøve i håndsmedning tillige med en svendeprøve i tømmerfaget. Det sidste fordi ansøgeren havde tænkt sig selv at forarbejde de trækasser, som sømmene skulle pakkes i. Er der noget at sige til det, hvis Wilkens skiftede spor og søgte ansættelse som lektor i teknologi på Den polytekniske Læreanstalt, hvor han fik et langt livs virke i teknikens tjeneste.

Dette er et af mange eksempler på en konflikt der opstod, når repræsentanter for polyteknikken i teori og praksis tørnede sammen i et forsvar for deres særinteresser. Disse konflikter blev importeret direkte til læreanstalten som et resultat af den bestemte faglige indretning undervisningen havde fået af enevælden. Det hænger sammen med økonomiske hensyn og den spareiver, som først og fremmest prægede enevældens projektmageri. Måske ville det være mest korrekt at betegne kongens pekuniære indstilling som en næsten ufattelig nærighed på statskassens vegne. Dermed kom pengene til at råde over fornuften. Det førte til, at en række modsat rettede intentioner om teknisk undervisning i teori eller praksis blev samlet under én og samme hat på læreanstalten. Samtidig blev skolen snævert tilknyttet universitetet som en akademisk institution. Alt sammen båret igennem af et dygtigt politisk kompromis, som den habile universitetspolitiker H. C. Ørsted ganske fermt formåede at skabe – ihvertfald på papiret.

Teori eller praksis

Der har vist sig at være et enormt konfliktpotentiale mellem den akademiske og den tekniske verden nedlagt i den uddannelsespolitiske konstruktion, som fik sit udspring i Guldalderen. Modsætningerne bundet såvel i sociale og standsmæssige forhold som i det faktum, at de polytekniske studerende og håndværkets lærlinge, som søgte samme skole, befandt sig i hver deres teknikkultur. I det daglige virke skulle det vise sig, at det akademiske stod langt stærkere end det håndværksmæssige på læreanstalten. Det hang ikke mindst sammen med institutionens akademiske præg og studenternes forventninger til en naturvidenskabelig universitetsgrad med afsluttende embedseksamen.

For at harmonisere de to kulturer havde man på læreanstalten ved siden af den massive teoretiske undervisning indrettet en række værksteder og ansat den førende mekaniker i bygning af dampmaskiner som daglig leder. Formålet var at "åbne værksteder for det dannede menneske"; som H. C. Ørsted eksplicit formulerede det i sin åbningstale til majestæten Frederik 6. Det medførte vel næppe en praksis af sig selv – "erfaringens skole vil han endnu have at gennemgå". Men Ørsted havde en forhåbning om, at det ville skabe fremskridt for alle parter. Samtidig tog han klart parti for den akademiske elitekultur og forklarede i dette perspektiv, hvad formålet for studenten var med værkstederne: "han skånes dog for de læredrengear, der afskrække så mange dannede unge mennesker fra næringsbrugen til største skade for landets fremgang i kunstflid og velstand".

Ørsted markerede gennem denne tale sin egen afstand til håndværkerkulturen ved at sætte naturvidenskaben på en piedestal højt hævet over det praktiske liv. Budskabet gik da også rent ind hos de studerende. De forstod at værkstedsundervisningen kun var ment som et tilbud og derfor ikke gjort obligatorisk. Selvfølgelig mødte heller ingen studenter frem til værkstedstimerne. Forstanderen tog sin afsked inden året var omme. Og snart forsvandt den praktiske undervisning på værkstedet helt ud af skoleskemaet.

Den skandale som udspillede sig omkring den første eksamen i maskinlæren var måske det tydeligste symptom på den konflikt, der herskede mellem den akademiske kultur og håndværkerkulturen på læreanstalten. De fem ud af seks eksaminander dumpede til eksamen med glans. Flere af dem, fordi de afleverede blanke besvarelser på opgaven, som gik ud på at lave et udkast til et mekanisk fabriksanlæg. En af eksaminanderne havde besvaret opgaven aldeles tankeløst ved at anlægge en kælderetage under ambolten og en beboelsesetage over hammerværket. Han dumpede da også med glans.

Selvom det kunne godtgøres, at studenterne havde sjoflet undervisningen på det groveste de forløbne to år, klagede de bittert deres nød til bestyrelsen. Derpå måtte docenten i faget øjeblikkelig søge sin afsked. I en af de skriftlige klager fastslår den forurettede eksaminand, juristen og matematikeren L. S. Fallesen, at det havde været ubehageligt for ham, at han ved siden af de teoretiske naturvidenskabelige fag "tillige måtte lægge sig efter flere praktiske discipliner, nemlig maskinlæren og tegning, der i mindre grad tiltalede mig". Nogen polyteknisk embedseksamen blev det heller ikke til for denne student. Til gengæld erhvervede han som den første en lærestol i forstvidenskab. Et professorat han bestred med total foragt for de empiriske erfaringer i skovbruget. Hvis man skal tro hans eftermæle, var han meget lidt bevendt på denne post [6].

Saglighed og privilegium

Konflikten mellem de to kulturer faldt fra startenentydigt ud til fordel for udøverne af den akademiske kultur. På læreanstalten opdyrkede man den naturvidenskabelige teori og udviklede en teknologisk software passende til det akademiske åndsliv, mens håndværkerkulturens praktiske viden om bygning af dampmaskiner og fremstilling af anden hardware blev forvist fra læseplanen. Nok var det en akademisk læreanstalt, men det betød dog ikke, at alle studentikose løjer fik lov til at passere upåtalte fra højeste sted, hvis det bragte skolens ry i fare.

Den senere jernbanedirektør, polyteknisk kandidat nr. 25 Viggo Rothe, beretter i sine memoirer om, hvorledes han hjalp en uheldig kammerat til eksamenssnyd i den todages eksamen i matematik, de begge var oppe til. Selv var han ganske ferm til matematik, mens kumpanen var håbløs. Derfor havde Rothe efter første dag af eksamen, praktiseret sit eget koncept på en vanskelig besvarelse overfor venen. Desværre viste det sig, at han havde praktiseret et kuriøst koncept i sin løsning af spørgsmålet og ladet venen følge samme gale vej. Bedrageriet var straks afsløret og de to blev kaldt ind at stå skoleret for direktøren, H. C. Ørsted. Han må have fundet episoden lidt mere komisk end alvorlig. Derfor blev hele affæren heldigvis ordnet med en ordentlig riv-af fra etatsrådets side, som Rothe erindrer det.

Viggo Rotheres fortsatte karriere er værd at følge lidt på vej. Efter at have taget polyteknisk embedseksamen blev han ansat som embedsmand i et kontor for fyrvæsenet under kommercekollegiet, hvor han snart blev ansvarlig for moderniseringen af de danske fyrtårne efter fransk forbillede. Under den ministerielle nyordning efter enevældens fald, blev kontoret lagt under indenrigsministeriet. Samtidig var Rothe p.g.a. sin ubestridelige dygtighed tiltænkt en overordnet post i det nye departement.

Det var dette træk, som fik konflikten mellem de to kulturer til at bryde ud i lys lue. Konsekvensen af Rotheres advancement var, at flere jurister ville få en polytekniker som overordnet. Hvilket var totalt utænkeligt, og straks medførte skarpe protester fra juristernes side. Trods modstand fra de folkevalgte polyteknikere i rigsdagen, fulgt op med ihærdigt lobbyarbejde af den nystiftede interesseorganisation Polyteknisk Samfund, som udsendte kampskriftet "Statsstyrelsen betragtet fra et teknisk standpunkt", vaklede ministeren under det hårde pres og trak sin udnævnelse af Rothe tilbage. Rasende over denne uretfærdighed tog Viggo Rothe øjeblikkelig sin afsked fra statstjenesten og blev direktør i et privat jernbaneselskab. Fra denne post samlede og organiserede han hele det danske jernbanevæsen. Hændelsen var symptomatisk men ikke særlig morsom for Rothe, som på den måde blev katalysator for et af de klassiske sammenstød mellem de to kulturer herhjemme.

De to kulturer i dag

De traditionelle faglige brudflader og modsætningerne mellem de forskellige professionelle kulturer har flyttet sig med tiden. I dag er det humanistvidenskabernes, som har fået tildelt den dynamiske rolle i samfundsudviklingen. Humanisterne trænger sig på som softwareudviklere, kommunikatorer og administratorer såvel i den offentlige forvaltning som i det private erhvervsliv. Det som med en sigende betegnelse før i tiden hed "utraditionel beskæftigelse" er i færd med at blive en naturlig del af magistrenes arbejdsmarked. De er for alvor kommet i vælten med udbredelsen af informationsteknologi i samfundet [7].

Store dele af humanioras traditionelle genstandsfelt er ved at blive instrumentaliseret. Det sker gennem faglige knopskydninger og oprettelsen af nye humanistiske uddannelsesfag. Det sker på samme vis, som udviklingen tidligere gik over naturvidenskaben og samfundsvidenskaben, som er blevet specialiseret og instrumentaliseret til at være teknologi. Denne samfundsmæssiggørelse af humanvidenskaben sker i takt med at moderniseringen af det kapitalistiske samfund skrider frem. Naturvidenskaben blev til produktionsteknologi med den 2. industrielle revolution efter 1890. Samfundsvidenskaben blev til social teknologi med velfærdsstaten efter 1945. Humaniora bliver i stigende grad gjort til informationsteknologi efter 1980. Overfor de nye udfordringer stiller det gamle humaniora sig på bagbenene i et perspektivløst forsvar for heden-gangne videnskabelige traditioner i lighed med andre videnskabelige romantikere. Mens en anden del af humaniora i opposition mod udviklingen hævder at ville være samfundets kritiske bevidsthed om sig selv uden at overveje, om denne selvbevidsthed er vejen til at lave ny teknologi eller blot blive tandløs. Det er videnskabshistoriske funktionsændringer som disse, der fører til fortsatte sammenstød mellem to distinkte kulturer. Fremtidens kulturelle slagmark ligger efter alt at dømme i kløvningen af den biologiske videnskab, som vil afføde nye specialiserede, instrumentaliserede eller traditionaliserede fag.

Derimod er den "gamle" teknik- og naturvidenskab blevet mindre dynamisk i takt med at informationsudviklingen er sket. Det syntes ikke længere at være særligt attraktivt at skulle lave hardwaren til fremtidens informationssamfund. Til gengæld er det blevet meget eftertragtet at finde på noget at bruge hardwaren til og udvikle brugersystemer i form af software til allehånde formål. Derfor taler man i disse år om teknik- og naturvidenskabens krise, fordi nye ungdomsårgange tilsyneladende søger væk for hellere at studere humaniora og samfundsfag, mens den hårde videnskab mister sin status og tiltrækningskraft. Vist er det sjovt at lege med computeren, men ubehageligt er det at tænke dybere over, hvad der mon i grunden foregår inde i alle de små kredsløb bag skærmen. På den måde er teknik- og naturvidenskaben i færd med at havne i samme position hos ungdommen, som polyteknikken i sin tid hensatte håndværket til på Den polytekniske Læreanstalt.

Det er kløften mellem dynamiske og statiske videnskabelige kulturer, som til stadighed skaber konflikter under moderniseringen af samfundet og den offentlige forvaltning. Før scient. pol.'erne kom til var det cand. polit.'erne som trængte sig på i staten og foran dem stod polyteknikerne, som i sin tid havde forsøgt at fortrænge juristerne. Fremtidens "gøgeunger" kan meget vel blive humanisterne, det lægger instrumentaliseringen af humanioras genstandsfelt helt klart op til. Er humanisterne udvalgt til at være fremtidens teknoter, må den historiske cirkel siges at være sluttet for C. P. Snow. Uden at konflikten mellem de to kulturer tegner til at høre op af den grund.

Referencer:

- [1] C. P. Snow havde allerede kredset om fænomenet "de to kulturer" i flere artikler gennem 1950'erne før han holdt sin berømte "Rede-lecture" i Cambridge den 7. maj 1959. Udgivelsen af forelæsnngen, som oprindeligt bar titlen "The Two Cultures and the Scientific Revolution" affødte en meget omfattende debat, som Snow kommenterede i en tilføjelse til essayet med titlen "The Two Cultures. A Second Look" i 1964. Essayet blev udgivet på dansk i 1966. Senest er det blevet genudgivet med en omfattende introduktion til hele debatten af Stefan Collini i 1993. Efter Snøws tilføjelser endte begrebet om de to kulturer med at være særdeles flertydigt.
- [2] Michael F. Wagner, "Det polytekniske gennembrud. Romantikens teknologiske konstruktion 1780-1850", Oxford, 1999.
- [3] Jeg opfatter Ove Poulsens indlæg "Dansk naturvidenskab under lup" i KVANT, nr. 1, marts 2000, som en nutidig eksponent for den samme bekymring.
- [4] Ove Nathan repræsenterer denne åndsretning i videnskabshistorien med sin kritiske anmeldelse af min disputats, "H. C. Ørsted under lup", i KVANT, nr. 4, december 1999.
- [5] Teknokratismen er en politisk ideologi, som måske er bedre end sit historiske rygte. Den udtrykker i bedste fald en udviklet social bevidsthed og politisk vilje til at skabe fremskridt ved at bruge videnskaben og teknikken i samfundets tjeneste, noget som har været diskuteret blandt danske polyteknikere til visse tider. Jfr. Michael F. Wagner: De politiske polyteknikere – politisering og professionalisering under systemskiftet. Den jyske Historiker, nr. 83-84, maj 1999; Teknokrati uden teknokratisme – Ingeniørstandens tredje standpunkt, professionalism og moderniseringsstrategier 1840-1940. In M. Rostgaard, M. Wagner (red.): Lederskab i Dansk Industri og Samfund 1880-1960, Aalborg, 2000.
- [6] Michael F. Wagner: Skandalen på Den polytekniske Læreanstalt – konflikten mellem teori og praksis på skolen. Den jyske Historiker, nr. 62-63, april 1993.
- [7] Jfr. tema om "Bløde behov i en hård branche" Magisterbladet, nr. 17, 14. September 2000.



Michael Wagner, dr.phil., er lektor i det 19. århundredes sociale og politiske historie, Historiestudiet ved Aalborg Universitet. Han har primært forsket i det moderne samfunds videnskabs- og teknologihistorie.

Nyt fra Astronomisk Selskab

Astronomisk Selskab

Hjemmeside: AS.dsri.dk

Michael Quaade (formand)
Hviddingvej 48
2610 Rødovre

E-mail: mq@dsri.dk
Tlf. 36 72 36 34 (priv.) / 43 58 69 47 (arb.)

Hans Sørensen (kasserer)
Stavnsholtvej 32
3520 Farum

E-mail: hans-soh@post1.tele.dk
Tlf. 44 95 11 79



Foredrag om det astrofysiske grundlag for liv

Astronomisk Selskab er i foråret 2001 vært ved en foredragsrække i København og Århus under titlen "*Det astrofysiske grundlag for liv*". Netop i disse år opdages omkring 10 nye planeter pr. år uden for vores solsystem. Kun planeter større end Jupiter kan idag registreres, men chancerne for at der findes en klode som Jorden omkring en anden sol lignende stjerne må i dag betragtes som meget stor. Foredragsserien vil komme rundt om spørgsmålet om hvordan livet opstod på Jorden og hvilke miljøer i Solsystemet der er interessante m.h.t. at søge efter liv udenfor Jorden. Følgende spørgsmål vil bl.a. blive berørt: Hvilke grundstoffer anvender levende organismer? Hvor kommer grundstofferne fra? Er vand en nødvendighed for at der kan opstå

liv? Hvordan klarer levende organismer sig ved mangel på vand (f.eks. i ekstremt kolde miljøer)? Hvor udbredt er flydende vand i vores solsystem? Har Mars haft oceaner, hvor forsvandt de hen og hvorfor? Hvor står vi i dag, hvad angår spørgsmålet om livets oprindelse?

Mandag, den 12. februar

Introduktion v/ Michael Cramer Andersen: "Det astrofysiske grundlag for liv".

Mandag, den 5. marts

Eske Willerslev (i København) og Anders J. Hansen (i Århus): "Jagten på liv i ekstreme miljøer".

Mandag, den 26. marts

Dorte Dahl Jensen: "Is og vand i Solsystemet".

Mandag, den 23. april

Jens Martin Knudsen: "Mars – hvorfor forsvandt vandet?".

Mandag, den 7. maj

Arne Damm: "Livets oprindelse – hvor står vi i dag?".

Foredragene foregår mandage kl. 19.15–21.00 i København i auditoriet i Rockefeller komplekset, Juliane Maries Vej 30.

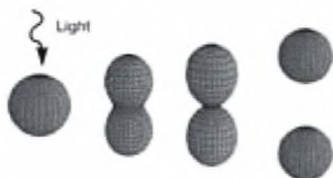
Forelæsningsrækken gentages i Århus: den 19/2, 12/3, 2/4, 30/4 og 14/5. Tid og sted: Mandage kl. 19.15–21.00 på Matematisk Institut, Ny Munkegade, Auditorium D3, 8000 Århus C.

Der er gratis adgang for medlemmer af Astronomisk Selskab og Tycho Brahe Planetarium, tilmelding er ikke nødvendig. Øvrige deltagere skal tilmelde sig gennem Folkeuniversitetet i København eller Århus (kursusprogram kan rekvireres på tlf. 33 48 48 27 eller 86 19 05 66).

Foredragsserien er tilrettelagt af Michael Cramer Andersen og Arne Damm.

KVANT-nyheder

Redigeret af Michael Cramer Andersen



Figur 1. En elektron-boble exciteres af lys og går i stykker.

Kan elektroner deles?

Frie elektroner i flydende helium vil forme en boble på omkring 40 ångstrøm i diameter som, når den udsættes for lys, bryder op i mindre stykker hvis man skal tro den amerikanske forsker Humphrey J. Maris. De frie elektroner forårsager at en lille boble dannes omkring dem og disse bobler kan både udvide sig og bevæge sig rundt

i omgivelserne af helium. Hvis en sådan elektron-boble exciteres af lys kan den gå over i to dele. Maris mener, at boblen begynder at opføre sig som en bølge når den exciteres og kan dele op i flere bobler hver med dele af elektron-bølgen.

Maris kalder disse elektron-fragmenter for *elektrinoer*. Hvad er det for et fænomen? Eksperimenter tilbage i 1960'erne, som hidtil ikke har kunnet forklares, kan muligvis fortolkes med den nye teori. Forskerne belyste flydende helium, der var påtrykt et elektrisk felt, og iagttog en øget strøm af negative ladninger, formentlig elektroner. Men eksperimenterne tydede på, at der var op til 13 forskellige typer uidentificerede negativt ladede partikler som bevægede sig gennem heliumet med forskellige hastigheder. Forskerne døbte dem "eksotiske ioner". Er disse eksotiske ioner

Fortsættes side 27.

Galakser i det tidlige Univers, I: Lyman–kanten

Johan P.U. Fynbo og Palle Møller, Europæisk Syd Observatorium, Garching, Tyskland.

Vi kender idag til tre fundamentale vekselvirkninger, nemlig den stærke, den elektro-svage (den elektromagnetiske og den svage under et) og den gravitationelle vekselvirkning. Den stærke vekselvirkning binder objekter (baryoner, mesoner og atomkerner) med dimension af størrelsesorden 10^{-15} m. For de største atomkerner er summen af de frastødende elektromagnetiske kræfter mellem protonerne sammenlignelige med summen af de stærke kræfter, fordi den stærke kraft kun har en meget kort rækkevidde. For de mindste objekter bundet sammen af den elektromagnetiske vekselvirkning (atomer) er udstrækningen 100.000 gange større, nemlig ca. 10^{-10} m. Den elektromagnetiske vekselvirkning dominerer strukturer op til af størrelsesorden bjerge på jorden eller små asteroider i rummet, hvorefter den gravitationelle vekselvirkning tager over. Den gravitationelle vekselvirkning er uhyre svag sammenlignet med de andre vekselvirkninger, hvilket afspejler sig i udstrækningen af objekter bundet sammen af denne vekselvirkning. I gravitationens "periodiske system" befinder sig objekter lige fra asteroider med udstrækning af størrelsesorden $\sim 10^4$ m til galaksehobe med udstrækning af størrelsesorden $\sim 10^{23}$ m. For objekter bundet sammen af gravitationen kan man altså ikke på samme måde tale om en karakteristisk størrelsesorden. Vi vil senere komme lidt ind på, hvorfor det er sådan, men den vigtige ting at huske på her er, at for alle skalaer større end asteroider er det gravitationskraften alene der styrer hvad der foregår.

I denne artikel, og en følgende, vil vi forsøge at belyse, hvad vi idag ved om de tidlige stadier af en bestemt slags struktur dannet af gravitationen – *galakser* – objekter med udstrækning af størrelsesordenen $\sim 10^{21}$ m som vores egen Mælkevej (se Fig. 1). Studiet af sådanne objekter er kompliceret af, at vi ikke som for atomkerner og atomer kan studere dem under kontrollerede forhold i laboratoriet, men i stedet med vore teleskoper må studere den elektromagnetiske stråling galakserne udsender.

Dannelsen af Struktur i Universet

En af de absolut mest betydningsfulde videnskabelige opdagelser i det 20. århundrede er Penzias og Wilsons opdagelse af den kosmiske mikrobølge baggrundstråling i 1965. Fra de nyeste observationerne indsamlet med NASAs COsmic Microwave Background Explorer (COBE) ved vi nu, at baryonerne var ekstremt homogent fordelt, da den kosmiske baggrundstråling afkoblede fra de frie elektroner i.f.m. rekombinationen ca. 300.000 år efter Big Bang. Amplituden af tæthedsfluktuationerne (for definitionen se Box

1) i det baryonske stof var på det tidspunkt kun af størrelsesordenen $\delta \approx 3 \times 10^{-5}$, så universet var tæt på at være fuldstændigt homogent. Disse primordiale tæthedsfluktuationer menes at stamme fra kvantefluktuationer i en mikroskopisk del af rummet, der efter en fase med eksponentiel udvidelse (såkaldt inflation) en brøkdel af et sekund efter Big Bang blev til hele det nuværende observerbare univers. En ret vild tanke.



Figur 1. Mælkevejen: en galakse set indefra. Lyset kommer primært fra stjerner i en flad skivefordeling. Skiven roterer med en hastighed på ca. 200 km/s. De mørke områder i skiven er mørke, fordi støv (grafit og silikat forbindelser) absorberer lyset fra stjernerne.

Det er et centralt spørgsmål i moderne astrofysik, hvordan universet udviklede sig fra det meget homogene tidlige stadium til det meget strukturerede stadium idag (idag er $\delta \approx 0.3$ midlet over en skala på ca. 30 Mpc, $1 \text{ Mpc} = 3.086 \times 10^{22}$ m). Meget overordnet betragtet ved vi godt, hvad der er sket: de små tæthedsfluktuationer er under indvirkning af den altid tiltrækkende gravitation vokset og har derved dannet strukturen, vi ser i det lokale univers. Imidlertid er ingen eksisterende teori i stand til at reproducere strukturen i det lokale univers ud fra baryonsk stof alene, givet de små tæthedsfluktuationer 300.000 år efter Big Bang. Fluktuationer i baryonsk stof kan nemlig ikke vokse før stoffet afkobles fra den elektromagnetiske stråling, d.v.s. før rekombinationen. Dette problem forsvinder, hvis man i simuleringen inkluderer dissipationssløst, *mørkt stof*. Fluktuationer i det mørke (d.v.s. ikke elektromagnetisk vekselvirkende) stof har længere tid til at vokse, fordi det ikke er koblet til strålingen. Med andre ord er den lille amplitude af fluktuationerne i den kosmiske baggrundstråling endnu et indicium for, at langt størstedelen - måske 90% - af massen i universet må være i form af mørkt, endnu ukendt stof.

En af grundene til, at strukturer dannet af gravitationskraften ikke har en karakteristisk størrelsesorden, men snarere er karakteriseret ved en bred fordeling af længdeskalaer, er at power-spektret af primordiale

tæthedsperturbationer er en potens-lov (se [1] og Box 1). Potens-love har ikke karakteristiske skalaer.

Box 1. Tæthedsfluktuationer

I et givet punkt i rummet er tæthedsfluktuationen δ defineret som den relative afvigelse af massetætheden ρ fra middel massetætheden ρ_{middel}

$$\delta \equiv \frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{middel}}},$$

Fordelingen af tæthedsfluktuationer på forskellige længdeskalaer λ (dimension længde) specificeres oftes i form af det såkaldte *power spektrum*

$$P(k) = |\delta_k|^2,$$

hvor bølgetallet k (dimension invers længde) er $\frac{2\pi}{\lambda}$ og δ_k er Fourier transformationen af tæthedsfluktuationerne :

$$\delta_k \propto \int \delta(\vec{x}) \exp(i\vec{k} \cdot \vec{x}) d^3x.$$

Inflationsteorien forudsiger i sin simpleste form, at tæthedsfluktuationerne skyldes kvantefluktuationer i en mikroskopisk del af universet, der efter inflationen blev til hele vores makroskopiske univers. Endvidere forudsiger teorien, at power spektret er en potens lov :

$$P(k) \propto k^n,$$

hvor $n \approx 1$. Dette passer fint med COBEs observationer af baggrundstrålingen.

For at undersøge, hvordan universet udviklede sig fra det ekstremt homogene stadium tidligt til det mere strukturerede i dag, studerer man det meget fjerne univers. Fordi lyset kun har en endelig udbredelse-shastighed på ca. 300.000 km/s, så ser vi altid astronomiske objekter som de var engang i fortiden. Solen ser vi som den var for 8 minutter siden. Det lys vi i dag modtager fra den nærmeste store galakse, Andromeda galaksen, blev udsendt for ca. 2 millioner år siden, da vore forfædre trådte deres første skridt på to ben. For de fjerneste objekter man i dag kender, har lyset været undervejs i mere end 90% af den tid, ca. 15 milliarder år, der er gået siden Big Bang. Med andre ord kan vi i dag "se" langt størstedelen af den synlige univers historie, men naturligvis langt fra med samme detalje til alle tider.

Rødforskydning og afstand

Før vi beskriver, hvad vi idag ved om galakserne i det tidlige univers vil vi kort beskrive sammenhængene mellem rødforskydning, og afstand. Det er efterhånden

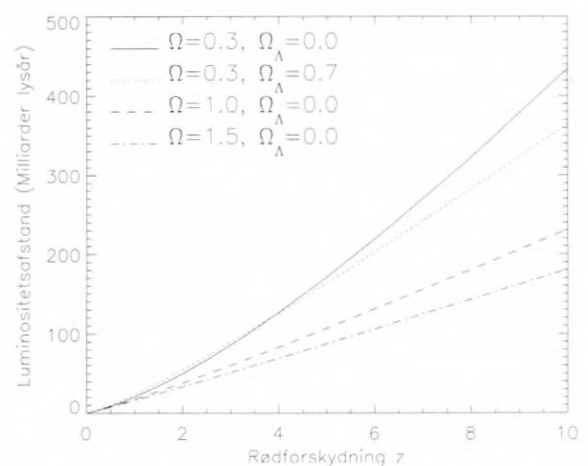
velkendt, at universet udvider sig. Dette blev opdaget omkring 1930 [2] (få år efter erkendelsen af, at de andre spiraltåger er eksterne galakser som Mælkevejen [3]). Man fandt da, at spektrallinjerne i galakserne systematisk var forskudt mod den røde ende af spektret. Denne *rødforskydning* tolkede man som et Dopplerskift, der skyldtes, at galakserne bevæger sig bort fra jorden. Hubble fandt, at der var en proportionalitet mellem denne tilsyneladende hastighed bort fra jorden v (målt via rødforskydningen af spektrallinjer) og afstanden d til objektet

$$v = H_0 \times d, \quad (1)$$

Denne proportionalitet kaldes nu Hubble-loven og H_0 kaldes Hubble-konstanten. Værdien af H_0 har været genstand for intens debat i årtier p.g.a. store problemer forbundet med at måle afstande til galakserne, men der synes nu at være enighed om en værdi på 65 ± 10 km s⁻¹ Mpc⁻¹ (hvilket er ca. en faktor 10 mindre end den værdi Hubble selv fandt.) Denne såkaldte Hubble-lov gælder kun lokalt, d.v.s. for "små" værdier af d (≤ 100 Mpc). I stedet for at tænke på rødforskydningen som et Dopplerskift kan man betragte det på følgende måde. I den tid, der er gået siden lyset blev udsendt fra en galakse til det observeres på jorden, har universet udvidet sig. Den faktor universet har udvidet sig langs en dimension er givet ved $1+z$. Bølgelængden af lyset er forøget med den samme faktor, d.v.s.

$$\lambda_{\text{observeret}} = (1+z) \times \lambda_{\text{udsendt}} \quad (2)$$

Den observerede bølgelængde er altså forskudt mod den røde ende af spektret, hvorfor z kaldes *rødforskydningen*. Generelt er der en kompliceret sammenhæng mellem z og d som afhænger af de kræfter, der bestemmer universets dynamik (Box 2), og Hubble-loven kan betragtes som en 1. ordens rækkeudvikling af denne generelle sammenhæng. Figur 2 viser den såkaldte luminositets afstand som funktion af z for forskellige værdier af de fundamentale parametre Ω_m



Figur 2. Sammenhængen mellem afstand og rødforskydning for forskellige værdier af Ω_m og Ω_Λ

og Ω_Λ (relateret til hhv. universets middelmassetæthed og den kosmologiske konstant, Box 2).

Lyman-kanten

Scenen er nu sat for at beskrive, hvad vi idag ved om galakser i det tidlige univers. For 10 år siden var kvasarer og radio galakser de eneste objekter man kendte til ved rødforskydninger $z \geq 1$. Disse objekter er ekstremt lysstærke objekter for hvilke den elektromagnetiske udstråling er domineret af bidraget fra området omkring et centralt, massivt (10^7 – $10^9 M_\odot$, $1 M_\odot = \text{solens masse} = 1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$) sort hul. Studiet af sådanne objekter fortæller derfor ikke direkte noget om naturen af *typiske* galakser i det tidlige univers.

Det store gennembrud kom i starten af 90'erne med den såkaldte Lyman-kant (eng. Lyman-break) metode til at finde stjernedannende galakser ved høje rødforskydninger [5,6]. Lyman-kant metoden er baseret på det simple faktum, at fotoner med bølgelængde $\lambda < 91.2 \text{ nm}$ har mere energi end 13.6 eV og dermed er i stand til at ionisere brint. Da der er store mængder brint både i selve galaksen og langs synslinien fra galaksen til jorden, så vil stort set alle fotoner med $\lambda < 91.2 \text{ nm}$ blive absorberet enten i selve galaksen eller langs synslinien til jorden. Derfor har spektre af stjernedannende galakser en stærk diskontinuitet, kaldet lyman-kanten, ved $\lambda = 91.2 \text{ nm}$. For overhovedet at have flux i denne (ultraviolette) del af spektret må galaksen være aktivt stjernedannende. UV-fotonerne stammer nemlig fra meget varme, tunge og kort-livede stjerner.

Når en stjernedannende galakse observeres ved rødforskydningen z , så vil man observere Lyman-kanten ved $\lambda = 91.2 \times (1+z) \text{ nm}$. For rødforskydninger ≥ 3 vil Lyman-kanten derfor falde i den del af spektret vi kan observere med optiske teleskoper (kaldet den optiske del af det elektromagnetiske spektrum). For at detektere sådanne galakser optager man dybe billeder i tre optiske filtre, kaldet U , G og R , der er transperante for lys i afgangsejede dele af hhv. den ultraviolette, grønne og røde del af det elektromagnetiske spektrum (se Figur 3). Lyman-kant galakserne (som de nu kaldes) kan så relativt nemt identificeres som objekter, der er klare i G og R filterne, men meget svagere i U filteret. G - R farven (defineret som forholdet mellem fluxen målt i G og R filtrene) bruges til at frasortere kolde stjerner og lavrødforskydnings elliptiske galakser som også vil være svage i U filteret. Lyman-kant galakser har en "grøn" G - R farve, mens kolde stjerner og elliptiske galakser har en "rød" G - R farve.

Siden starten af 90'erne har en gruppe af astronomer, anført af Charles Steidel fra CalTech og Max Pettini fra det Astronomiske Institut i Cambridge, brugt denne metode til at detektere Lyman-kant galakser med rødforskydninger i området $z=2.5$ – 4.5 . I skrivende stund kender man omkring 1000 Lyman-kant galakser.

Egenskaberne af Lyman-kant galakser er efterhånden velbestemte. De har stjernedannelsesrater i området 10–300 $M_\odot$ per år. Til sammenligning har galakser som Mælkevejen idag stjernedannelsesrater i området 1–10 $M_\odot$ per år, så Lyman-kant galakser er

Box 2. Afstand

Den generelle sammenhæng mellem afstanden d og rødforskydningen z er kompliceret. Primært er der mere end en måde at definere afstanden d på i et ekspanderende univers. Man definerer den såkaldte luminositetsafstand ud fra den sammenhæng mellem den observerede flux f og den udsendte luminositet L , der gælder i et fladt univers, nemlig

$$f = \frac{L}{4\pi d^2}$$

Sammenhængen mellem d og z er bestemt af flere parametre. Jo mere masse, der er i universet, jo mere vil universets udvidelse blive decelereret. Hvis middelmassefylden ρ_{middel} er større end en kritisk værdi ρ_{kritisk} , så vil universet på et tidspunkt standse sin ekspansion og påbegynde en kontraktion. Parameteren

$$\Omega_m = \frac{\rho_{\text{middel}}}{\rho_{\text{kritisk}}}$$

er derfor vigtig. Hvis der endvidere er en kosmologisk konstant (et emne som fortjener en selvstændig artikel i KVANT og som vi ikke kan komme nærmere ind på her og nu), så vil den kunne få universets ekspansion til at accelerere. Bidraget fra den kosmologiske konstant til energitætheden i universet betegnes Ω_Λ . Afstanden d er nu givet ved udtrykket [4] :

$$d = (1+z) \times \begin{cases} \mathcal{R} \sin(r/\mathcal{R}) & \text{for } 1/\mathcal{R}^2 > 0 \\ r & \text{for } 1/\mathcal{R}^2 = 0, \\ \mathcal{R} \sinh(r/\mathcal{R}) & \text{for } 1/\mathcal{R}^2 < 0 \end{cases}$$

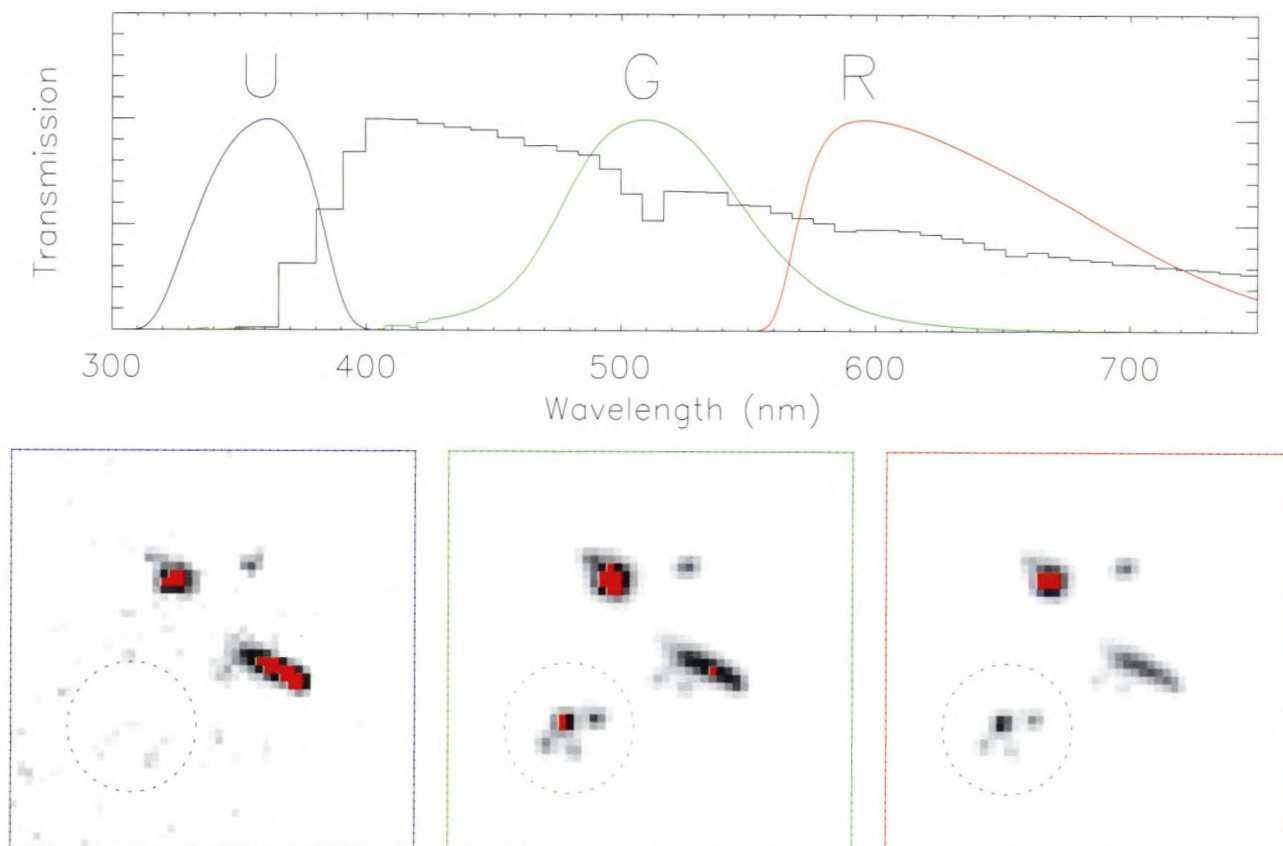
hvor universets krumningsradius $\mathcal{R}$ er givet ved

$$\frac{1}{\mathcal{R}^2} = \frac{\Omega_m + \Omega_\Lambda - 1}{c^2/H_0^2}.$$

og den radiale koordinat r er givet ved

$$r = \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz}{\sqrt{(1+z)^2(\Omega_m z + 1) - \Omega_\Lambda z(z+2)}}$$

De p.t. mest populære værdier af de vigtige parametre er $\Omega_m=0.3$ og $\Omega_\Lambda=0.7$.



Figur 3. Lyman-kant galakser. Øverst ses responskurverne for *U*, *G* og *R* filtrene plottet sammen med et modelspektrum for en stjernedannende galakse ved en rødforskydning på $z = 3.2$. De tre nederste figurer viser (fra venstre mod højre) *U*, *G* og *R* billeder af tre galakser, hvoraf en (i cirklen) er en Lyman-kant galakse med en rødforskydning på $z = 3.2$. Som det ses er galaksen synlig i *G* og *R* billederne, men helt usynlig i *U* billedet.

meget kraftigt stjernedannende. Dette er ikke overraskende, da Lyman-kant metoden som nævnt per design udvælger stjernedannende galakser, og med den nuværende teknologi er man kun i stand til at detektere de allermest lysstærke galakser i det tidlige univers. Et eksempel på en Lyman-kant galakse observeret i *U*, *G* og *R* kan ses i Figur 3.

Identifikation af et stort antal Lyman-kant galakser ved høj rødforskydning giver os forhåbning om, at vi omsider kan lukke det svælg i vores forståelse af universets udvikling som eksisterer imellem den tid da mikrobølge baggrundstrålingen blev udsendt, og det tidspunkt hvor vi ser de første stjernedannende systemer. Men, og der er et stort men, den metode man har defineret til at søge efter disse objekter er meget restriktiv. Det har som effekt at man altid kun finder objekter som har præcis de egenskaber man leder efter. Dette er en nødvendig fremgangsmåde på nuværende tidspunkt fordi disse objekter ligger lige på grænsen af hvad det er muligt at finde, men det betyder at vi med stor sandsynlighed lige nu har et temmelig skævt billede af hvad der faktisk sker. Spørgsmålet er om disse Lyman-kant galakser virkelig er de første trin til galaksedannelse. Er det dem der starter processen, eller er der andre min-

dre og svagere strukturer som påbegynder en tidligere vigtig process?

Man kan opsummere situationen således: Problemerne som høj rødforskydnings astronomien altid står overfor er:

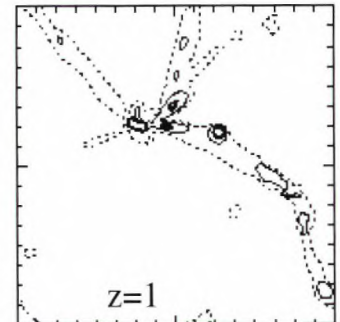
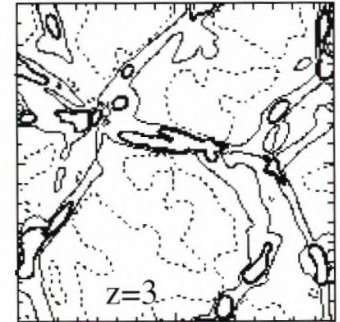
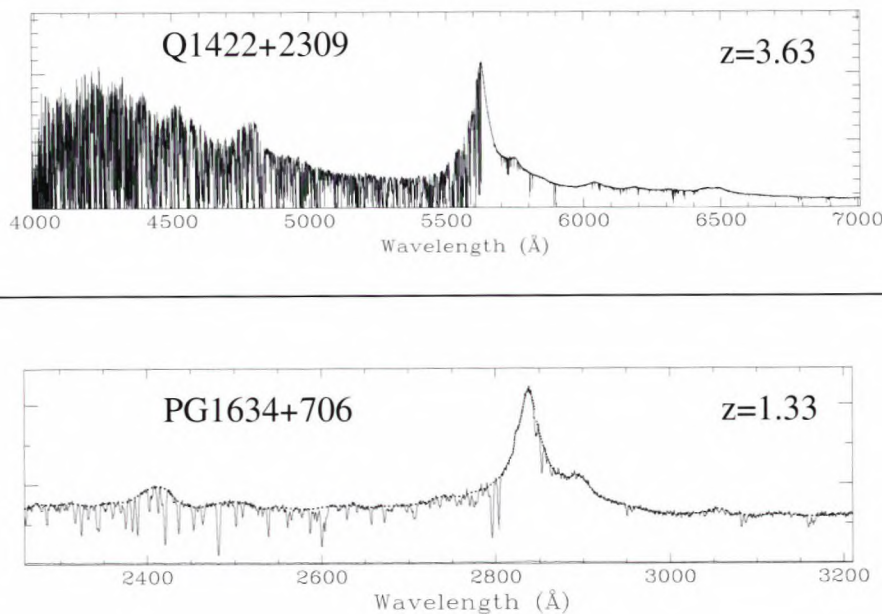
1. Man kan ikke finde et objekt før det begynder at lyse kraftigt nok til at man kan observere det med eksisterende teleskoper. Dette giver en skævhed mod altid kun at finde de største og klareste (og sikkert også mest atypiske) objekter.
2. Man kan *kun* se det lysende stof, hvilket er en meget meget lille brøkdel af universets masse. Gennem det meste af universets historie styres alle de vigtige processer, via gravitationen, af det mørke stof og af gassen.

Spørgsmålet er nu: Er det muligt at finde metoder til at afgøre hvordan, ved alle rødforskydninger, det lysende stof kobler til gassen og til det mørke stof? Heldigvis er svaret ja, men de observationer der skal gennemføres, og de efterfølgende analyser er ikke simple.

Hvad kvasarer kan bruges til

Som nævnt tidligere er kvasarer ekstremt lysstærke objekter. Derfor kan man relativt nemt detektere kvasarer selv ved meget store rødforskydninger. Rekordholderen er en kvasar, der blev fundet 13. april i år. Denne kvasar har en rødforskydning på $z = 5.82$, hvilket gør den til det fjerneste kendte objekt i universet (men næppe længe. Se [7] for flere detaljer). De fleste kvasarer har rødforskydning mellem 2 og 3.

Hvor kvasarer naturligvis er interessante objekter der kan studeres for at forstå deres egen placering i universets udvikling, så er det ikke desto mindre et faktum, at de har langt større betydning i form af at være neutrale sonder, der gør det muligt for os at studere fordelingen af gas i store sektioner af universet. Man kan nemlig bruge kvasarer til at studere objekter, der befinder sig langs synslinien fra jorden til kvasaren og som derfor *absorberer* noget af lyset fra kvasaren.



Figur 4. Spektre af kvasarerne Q1422+2309 og PG1634+706 (fra [8]).

Figur 4 viser spektrene af kvasarene Q1422+2309 og PG1634+706, der har rødforskydning på $z=3.63$ hhv. $z=1.33$. Begge kvasarer har en kraftig, bred emissionlinie. For Q1422+2309 har linien en bølgelængde på ca. 5630 Å ($1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm}$), mens den for PG1634+706 har en bølgelængde på ca. 2830 Å. Denne linie skyldes den rødforskudte Lyman- α emission ($\lambda = 1216 \text{ Å}$) fra ioniseret brint tæt på det sorte hul. På venstre side af Lyman- α emissionslinien er der en skov af absorptionslinier, særligt udpræget i spektret af Q1422+2309. Disse absorptionslinier skyldes, for langt størstedelens vedkommende, Lyman- α absorption af lyset fra kvasaren forårsaget af brintskyer, der befinder sig ved rødforskydninger $0 < z < z_{\text{kvasar}}$, d.v.s. langs sigtelinien fra jorden til kvasaren. Området på den blå side af kvasarens Lyman- α emissionslinie kaldes af denne grund Lyman- α -skoven [8,9].

Studiet af Lyman- α -skoven er en yderst givtig metode til at studere, hvordan universet er blevet mere og mere struktureret med tiden. En af grundene til, at

der er langt flere absorptionslinier i Lyman- α -skoven i spektret af Q1422+2309 end i spektret af PG1634+706 er, at universet var 8 gange tættere ved $z = 3$ end ved $z = 1$. Hovedårsagen er imidlertid, at gassen har udviklet sig i den tid, der er gået fra $z = 3$ til $z = 1$. Dels klumper gassen sig mere og mere sammen under indflydelse af gravitationen der er den kraft der dominerer på kosmologiens størrelsesskalaer, dels ioniseres gassen.

Denne udvikling kan nu modelleres i detaljer via computersimuleringer. Udviklingen indenfor computerteknologien i de seneste 10 år har løftet computersimuleringer af denne art fra spekulationer der blev mødt med stor skepsis, til et vigtigt stykke værktøj for kosmologien. De seneste computersimuleringer benytter hydrodynamiske simuleringer der inkluderer det mørke stof, gas og ionisation af gassen p.g.a. den elektromagnetiske stråling fra stjerner og kvasarer. De to figurer til højre for spektrene i Figur 4 viser hydrodynamiske simuleringer af, hvordan det neutrale brint er fordelt ved $z = 3$ og $z = 1$. Figurene viser konturer for

søjletæthed af brint (antal brintatomer per arealenhed) for et med ekspansionen følgende volumen af universet. Sidelængden ved $z=1$ er altså 2 gange større end ved $z=3$ i fysiske koordinater, så effekten af universets udvidelse er taget ud af sammenligningen. Heraf kan man se, at brintet både ved $z = 3$ og $z = 1$ primært er fordelt langs filamenter og at gassen ved $z = 1$ har samlet sig mere om filamenterne end ved $z = 3$. Man ser yderligere, at også *inde i* filamenterne har gassen ved $z = 1$ samlet sig i mere kompakte klumper.

Fra simuleringerne ved vi således hvordan gassen er koblet til det mørke stof. Simuleringer er imidlertid ikke i stand til at afgøre hvor og hvornår stjerner dannes. Det bedste de kan gøre er på en ret kvalitativ måde sige at galakser for det meste nok dannes hvor gastætheden kommer over en given grænse. For at finde ud af hvorledes lyset (dvs. stjerner og galakser) kobler til gassen og det mørke stof, bliver vi nødt til at finde nogle af de lysende objekter der "ejer" gassen vi ser som absorberende skyer foran kvasarerne. Især ville vi gerne finde de objekter der ejer de tætteste gasskyer, fordi det er der vi forventer at finde stjernedannelse. Dette ville synes, ved første øjekast, at være et overkommeligt projekt. Vi ved jo temmelig præcist hvor de er, så det er blot at kigge efter dem. Imidlertid er problemet at de med stor sandsynlighed er meget svagt lysende, og meget små. Vi ønsker altså at lede efter nogle meget svage objekter, ved meget høj rødforskydning, og disse svage objekter ligger klods op ad kvasarer som er de kraftigst lysende objekter i universet. Dette er klart et

job som kun kan udføres med de bedste teleskoper i verden. Det første objekt af den art blev fundet i 1993 [10], og til dato er kun 3 blevet identificeret (for et nyligt resume se feks. [11]).

Hubble rumteleskopet og det nyeste Europæiske 16 m VLT teleskop er nødvendige for at kunne gøre sig håb om at gøre signifikante fremskridt indenfor dette felt. I den næste artikel i denne serie vil vi afsløre nogle af de allernyeste resultater opnået med netop disse to instrumenter.

Referencer:

- [1] se f.eks. Kolb og Turner, *The Early Universe*, Wiley.
- [2] E. Hubble og M.L. Humason, *Astrophysical Journal* **74** (1931) 43.
- [3] E. Hubble, *Astrophysical Journal* **63** (1926) 236.
- [4] se f.eks. Longair M., 1998, *Galaxy Formation*, Springer.
- [5] C. C. Steidel, *Proc. Natl. Acad. Sci.* **96** (1999) 4232. www.pnas.org/cgi/content/full/96/8/4232.
- [6] M. Pettini, *ASP Conference Series* **48** (1998) 67.
- [7] www.sdss.org/news/releases/20000413.qso.html.
- [8] J. C. Charlton og C. W. Churchill, 2000, *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, MacMillan and the Institute of Physics Publishing.
- [9] M. Rauch, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* **36** (1998) 267.
- [10] P. Møller, S.J. Warren, *Astronomy & Astrophysics* **270** (1993) 43.
- [11] J. U. Fynbo, PhD afhandling astro.ifa.au.dk/~jfynbo/publications.html#thesis.

KVANT-nyheder

Fortsat fra side 21

Er disse eksotiske ioner de foreslåede elektron-boble elektrinoer? Eller blot ioner der stammer fra urenheder i heliumet?

Flydende helium eksperter er uenige om, hvordan teorien og de gamle forsøgsdata skal fortolkes og vil lave nye forsøg. Perspektiverne er store, hvis elektronen virkelig kan bryde i stykker må vi se på den gamle kending i et helt nyt lys.

Kilde: Science News 30. september 2000, www.sciencenews.org/20000930/note3ref.asp
newton.ex.ac.uk/aip/physnews.501.html#1
www.physics.brown.edu/Users/faculty/maris/maris.htm

Ørsted målinger i verdensklasse

Ørsted-satellitten har nu målt på Jordens magnetfelt gennem 1 1/2 år og resultaterne har givet geofysikerne en ny og avanceret model af Jordens magnetfelt. Modellen kom på forsiden af "Geophysical Research Letters" i midten af november hvilket placerer de danske forskere helt i front i den geomagnetiske disciplin. Der står 27 forskere bag arbejdet med den videnskabelige kortlægning af magnetfeltet og netop denne kortlægning prioriteres højt internationalt. Da Jordens magnetfelt beskytter mod skadelig stråling fra verdensrummet,

er det specielt interessant for flyrejsende, søfarere og polarekspeditioner at vide hvilke områder magnetfeltet er svagest i. Visse steder er magnetfeltet aftaget med 10% siden "Magsat" kortlagde magnetfeltet i 1979. Der sidder en videreudvikling af de danske Ørsted-instrumenter på den argentinske "Ørsted-2" satellit som opsendes 18. november.

Kilde: Pressemeddelelse DSRI 14. november.

Verdens laveste temperatur: 10^{-10} K

Danske og finske forskere har opnået de laveste temperaturer nogensinde. Resultatet findes i en Ph.d. afhandling af Tauno A. Knuuttila på Helsinki University of Technology. De rekordlave temperaturer blev opnået i en prøve af metallet rhodium, som blev kølet til 100 pK (picoKelvin). Dette svarer til 0,0000000001 grader over det absolutte nulpunkt, -273.16°C , som aldrig helt kan opnås, om end man kan komme tættere og tættere på. Den tidligere verdensrekord blev sat i Helsinki i 1993 og lød på 280 pK.

Det forskerteam, der har rapporteret verdensrekorden bestod af Kim Lefmann, Forskningscenter Risø, og Finn Berg Rasmussen, Københavns Universitet, samt fire finske forskere fra Low Temperature Laboratory i Helsinki.

Kilde: RISØ, 24. november, www.risoe.dk/press/

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Hjemmeside: www.snu.nbi.dk

Direktionen for SNU udgøres af:

Professor Dorte Olesen (formand)
UNI-C
Vermundsgade 5
2100 København Ø
E-mail: bente.egaa@uni-c.dk
Tlf. 35 87 88 04

Professor Søren Brunak

Professor Poul Erik Hansen

Lektor Erik Schou Jensen

Direktør, adjungeret professor Ole Mørk Lauridsen

Lektor Malte Olsen

Lektor Finn Berg Rasmussen

Lektor Jørn Johs. Christiansen (sekretær)
Aakjærs Alle 24 B
2860 Søborg
Tlf. 39 69 58 18



ning.

Når direktionen for Selskabet for Naturlærens Udbredelse har ønsket, at han skal modtage H. C. Ørsted medaljen, er det for at give udtryk for værdsættelse af og beundring af hans rige og frugtbare virke for det formål, der lå stifterne på sinde ved Selskabets oprettelse, og hvortil hans bidrag vanskeligt finder noget sidestykke siden Ørsteds dage.

I forbindelse med medaljeoverrækkelsen holdt Jens Martin Knudsen et foredrag om Solsystemets opståen.



Jens Martin Knudsen fik overrakt Ørstedmedaljen i sølv af Ove Nathan, der selv modtog medaljen i 1999. I midten ses formanden for SNU, Dorte Olesen.

Ørstedmedaljen i sølv til Jens Martin Knudsen

Den 11. december modtog dr.scient. Jens Martin Knudsen H. C. Ørsted medaljen i sølv af Selskabet for Naturlærens Udbredelse. Tildelingen er sket som en anerkendelse af hans enestående indsats for udbredelsen i vide kredse af kendskabet til naturvidenskaben og dens metoder.

Jens Martin Knudsen har i talrige foredrag over hele landet og gennem talrige radio- og fjernsynssendelser behandlet en række emner indenfor astronomi og fysik og belyst disse ved indgående fagkundskab og en strålende fremstillingskunst.

Han har ved sin sjældne evne til at gøre stoffet levende og fængslende, forenet med strenge krav til nøgtern bedømmelse, som også præger hans egne videnskabelige arbejder, mere end nogen anden i nyere tid virket i Ørsteds ånd ved at vække interesse og begejstring hos ungdommen for naturvidenskaben. Ganske særligt har han peget på konkrete eksempler, hvor fysikken og kemiens love kan belyse menneskets situation i Universet.

Jens Martin Knudsen har gennem sin mangeårige universitetsundervisning, ved Københavns Universitet og flere udenlandske universiteter, inspireret og præget en hel generation af yngre fysikere, nogle til forskerkarriere, andre til selv at yde god og inspirerende undervis-

Kaos og orden i naturen

Forårets program har temaet "kaos og orden i naturen". Det første foredrag afholdes *mandag den 5. februar 2001*, hvor Mogens Høegh-Jensen holder foredrag på Geologisk Museum kl. 19.30, og *mandag den 26. februar 2001* taler Preben Graae Sørensen på Geologisk Museum kl. 19.30.

Tirsdag den 6. marts 2001 er der fællesarrangement med UNF på Virtual Reality centret VR-C, som ligger i bygning 305 på DTUs areal i Lyngby. Mødet starter kl. 19.30 og der er billetsalg fra 8. februar til 1. marts hos Bente Egaa, 35 87 88 04.

Mandag den 19. marts 2001 taler Søren Laurentius Nielsen på Geologisk Museum kl. 19.30, og *mandag den 23. april 2001* taler Søren Brunak på Geologisk Museum kl. 19.30 om emnet "ibiologi – om bioinformatik og det humane genomprojekt".

Nærmere oplysninger om det sidste foredrag, der er planlagt til 14. maj 2001, vil blive bragt i næste nummer af Kvant. Eventuelle ændringer i programmet kan læses på SNUs hjemmeside: www.snu.nbi.dk

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Dansk Fysisk Selskab

Hjemmeside: www.nbi.dk/dfs
Henvendelser i forbindelse med årsmødet
2001 bedes ske via dfs@nbi.dk

Dorthe Posselt (formand)
IMFUFA, RUC
4000 Roskilde

E-mail: Dorthe@ruc.dk
Tlf. 46 74 26 07 / Fax 46 74 30 20

Ole Bakander (ole.bakander@post.tele.dk)

Henrik Bruus (næstformand) (bruus@nbi.dk)

Karsten W. Jacobsen (Karsten.W.Jacobsen@fysik.dtu.dk)

Ole Mouritsen (ogm@fki.dtu.dk)

Erik Horsdal Pedersen (kasserer) (horsdal@ifa.au.dk)

Jens Juul Rasmussen (jens.juul.rasmussen@risoe.dk)

Poul V. Thomsen (pvt@ifa.au.dk)



DFS årsmøde 2001

Dansk Fysisk Selskab afholder sit årsmøde 2001 på hotel Nyborg Strand i dagene 31. maj – 1. juni 2001. Som de foregående år afholdes det årlige astronomimøde, sponsoreret af SNF's Instrumentcenter for Jordbaseret Astronomisk Forskning (IJAF) sammen med DFS's møde. Mødet starter torsdag den 31. maj kl. 11 og slutter fredag den 1. juni kl. 17. I tilslutning til årsmødet afholder netværk for Kvinder i Fysik (KIF) sit årlige møde onsdag 30. maj.

Årsmødet vil indeholde plenarforedrag af almen fysisk interesse samt parallelsessioner om astrofysik, atomfysik, faststoffysik, højenergifysik, geofysik samt uddannelse og undervisning.

Sideløbende hermed vil forskningsresultater blive præsenteret som posters, og nyt apparatur vil blive fremvist på en udstilling. NKT forskerprisen 2001 vil blive overrakt, og endelig afholder DFS sin årlige generalforsamling under årsmødet fredag den 1. juni 2001.

Alle landets fysikere opfordres til at deltage i Dansk Fysisk Selskabs årsmøde med indlæg og posters og ikke mindst til at bidrage til en livlig diskussion. Især vil vi meget gerne give yngre forskere mulighed for at præsentere deres resultater for en bredere kreds.

Tilmeldingsfrist

Fristen for tilmelding til årsmødet er *tirsdag den 27. marts 2001*.

Tilmeldinger modtages dog også efter denne dato, så længe der er plads på hotellet, men man kan ikke søge om friplads som studerende (se nedenfor) efter tilmeldingsfristens udløb.

Program

En skitse af årsmødeprogrammet med angivelse af inviterede foredragsholdere og foredragstitler vil blive lagt ud på DFS's hjemmeside i begyndelsen af januar (www.nbi.dk/dfs). Programmet vil løbende blive opdateret, og det endelige program, der sammensættes på basis af de indsendte abstracts, vil være tilgængeligt ca. 1. maj. Det foreløbige program vil blive omtalt i næste nummer af Kvant.

Indkvartering, priser, fripladser m.v.

Indkvartering foregår på hotel Nyborg Strand. Pris for mødedeltagelse, incl. eventuel overnatning og diverse måltider, fremgår af tilmeldingsblanketten på næste side. Tilmelding sker ved at sende blanketten til hotel Nyborg Strand eller via internettet på DFS's hjemmeside. Deltagergebyret skal indbetales til hotellet senest 14 dage inden årsmødet: Dankort/kreditkort via DFS's hjemmeside, bankoverførsel kontonr.: 32 16 77 55 38 (Den Danske Bank), girokonto 801-9231 eller dansk check attesteret til Hotel Nyborg Strand, Østerøvej 2, 5800 Nyborg. **HUSK** i alle tilfælde at påføre navn/ordrenummer/DFS2001 – ordrenummer vil fremgå af hotellets bekræftelse, der tilsendes i slutningen af april.

For studerende, der ikke er indskrevet på Ph.D.-studiet, vil der være et antal fripladser. Ansøgning om en af fripladserne sker automatisk ved at afkrydse den relevante rubrik på tilmeldingsskemaet. Fripladser til astronomistuderende sponsoreres af IJAF, og fordeles uafhængigt af om ansøgeren er medlem af DFS eller ej. Andre studerende kan få friplads af DFS, og her er det en forudsætning, at man er medlem. I tidligere år er det lykkedes at give fripladser til alle rettidigt tilmeldte studerende. Fripladserne vil blive fordelt kort tid efter tilmeldingsfristens udløb, og man vil modtage særskilt besked herom. Hvis pladserne er brugt op, har man fortsat mulighed for at deltage mod betaling som anført på tilmeldingsskemaet.

Transport

Transport til/fra Nyborg sørger deltagerne selv for. Der bliver arrangeret bustransport mellem Nyborg Station og hotel Nyborg Strand i forbindelse med årsmødets start torsdag formiddag og årsmødets afslutning fredag eftermiddag. Angiv venligst på tilmeldingsblanketten om der påregnes deltagelse i denne fælles bustransport.

Abstracts

Abstract indsendes via DFS's hjemmeside (www.nbi.dk/dfs), og et skema hertil vil blive lagt ud på hjemmesiden i januar/februar 2001. Fristen for indsendelse af abstracts er også den 27. marts 2001.

Tilmeldingsblanket - DFS Årsmøde 2001

DFS, IJAF og KIF årsmøder. (Tilmelding kan også ske via DFS's hjemmeside www.nbi.dk/dfs)

Navn: _____
Institution: _____
Adresse: _____
Postnr. og by: _____
Telefon: _____ E-mail: _____

Tilmelding her gælder deltagelse i DFS-årsmødet 31. maj–1. juni 2001, overnatning natten mellem torsdag og fredag samt alle måltider fra torsdag formiddag til fredag eftermiddag. Bemærk, at DFS-medlemmer får rabat på deltagergebyret.

- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på enkeltværelse; DFS-medlem; 2.025 kr.
- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på enkeltværelse; ikke-medlem; 2.350 kr.
- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på dobbeltværelse; DFS-medlem; 1.775 kr.
- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på dobbeltværelse; ikke-medlem; 2.100 kr.
- ☐ Deltager (også studerende) uden overnatning; DFS-medlem; 1.300 kr.
- ☐ Deltager (også studerende) uden overnatning; ikke-medlem; 1.500 kr.

- ☐ Studerende med overnatning på delt tre-sengs værelse; DFS-medlem; 1.450 kr.
- ☐ Studerende med overnatning på delt tre-sengs værelse; ikke-medlem; 1.575 kr.
- ☐ Astronomistuderende (ikke Ph.D.) - søger IJAF friplads.
- ☐ Fysikstuderende (ikke Ph.D.) og medlem af DFS - søger DFS friplads.

- ☐ Jeg ønsker bustransport mellem station og hotel.

KIF-årsmødet 30. maj 2001

Tilmelding her gælder deltagelse i KIF-årsmødet onsdag den 30. maj 2001 samt frokost og eftermiddagskaffe. Overnatning er natten mellem onsdag og torsdag (incl. morgenmad).

- ☐ Deltager med overnatning på enkeltværelse; 1.150 kr.
- ☐ Deltager med overnatning på dobbeltværelse; 900 kr.
- ☐ Deltager uden overnatning; 290 kr.

Denne blanket sendes senest 27. marts 2001 til Hotel Nyborg Strand, 5800 Nyborg. Mærk kuverten "DFS 2001". En bekræftelse med et ordrenummer, der bedes brugt ved betaling, sendes til deltagerne i april måned. Betaling kan ske via internet, via giro eller bankoverførsel eller ved indsendelse af en check – se foregående side.

DFS's sektioner og IJAF (SNF's Instrumentcenter for Jordbaseret Astronomisk Forskning) sammensætter programmet på grundlag af bl.a. de indsendte abstracts, og deltagerne vil få meddelelse herom, hvis deres bidrag er udvalgt til et foredrag. De øvrige bidrag (samt hvis man ikke ønsker foredrag) vil blive præsenteret i en posterudstilling. Posterboards er 1.15 m brede og 1.45 m høje, og de er hævet ca. 30-40 cm over gulvet. De bedste posters vil blive præmieret udmiddelbart efter DFS's generalforsamling og der vil blive uddelt et diplom.

Kort efter tilmeldingsfristens udløb vil de ind-

sendte abstracts være tilgængelige på internettet. Abstracts, der indsendes efter tilmeldingsfristen vil blive tilføjet løbende på internettet, men man risikerer, at programmet for foredragene da er lagt fast, ligesom det ikke garanteres, at abstractet kan komme med i årsmødebogen.

Sprog

Årsmødets sprog er engelsk. Enkelte af sessionerne, f.eks. indenfor uddannelse og undervisning, vil foregå på dansk. Deltagerne bedes erindre, at hovedparten af tilhørerne er ikke-specialister i det behandlede emne og

indrette præsentationen derefter.

Yderligere information

Spørgsmål vedrørende årsmødet besvares ved at sende en e-mail til dfs@nbi.dk. Benyt venligst kun denne adresse til henvendelser vedr. årsmødet.

KIF årsmøde 30. maj 2001

Netværk for Kvinder i Fysik (KIF) afholder sit årsmøde onsdag den 30. maj, ligeledes på Nyborg Strand. Mødet, der starter kl. 10, omfatter faglige foredrag af kvindelige danske fysikere samt et foredrag af en udenlandsk fysiker over et mere generelt "kvinder i fysik"-tema. Alle er velkomne til at overvære foredragene. Dagen afsluttes med et netværksmøde med yderligere udveksling af erfaring og diskussion. For yderligere information, kontakt venligst Dorte Posselt, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, 4000 Roskilde. Telefon 46 74 26 07, fax 46 74 30 20, e-post: dorte@ruc.dk. Tilmelding sker på tilmeldingsblanketten side ?? eller via DFS's hjemmeside. Se også KIF's hjemmeside www.nbi.dk/kif for program, der opdateres løbende samt tidligere års programmer.

NKT forskerpris 2001

Medlemmer af Dansk Fysisk Selskab opfordres hermed til at indsende forslag til modtager af NKT Forskerprisen 2001.

Prisen er på kr. 100.000 og tildeles på ulige årstal en fysiker og på lige årstal en kemiker. Prisuddelingen i 2001 sker ved Dansk Fysisk Selskabs årsmøde den 31. maj – 1. juni.

Tildelingen skal ifølge fundatsen udtrykke en anerkendelse af en forskningsindsats af betydelig international vægt inden for grundlæggende eller anvendt fysik. Forskningsindsatsen skal være af nyere dato, og der lægges vægt på at prismodtageren er aktiv forsker med tilknytning til dansk fysik. Både yngre og ældre forskere kan komme i betragtning som prismodtagere. Prisen tildeles normalt én person, men kan undtagelsesvis tildeles flere personer hvis disse har været fælles om, og alle har ydet afgørende bidrag til, den forskningsindsats der danner grundlag for tildelingen.

Nomineringer indsendes på et skema, der kan rekvireres fra DFS (Dorte@ruc.dk) eller NKT (joachim.karthäuser@nkt-research.dk).

Nomineringen skal indeholde en kort beskrivelse af den nomineredes forskning, et kort CV, de vigtigste publikationer samt navne på to eller flere personer, der kan fungere som "peer reviewer" for den nominerede. Derudover kan medsendes uafhængige støtteskrivelser. NKT Research Center A/S stiller sekretariat til rådighed for priskomiteen, der udpeges efter indstilling fra DFS. Materialet indsendes til NKT Research Center A/S, Priorparken 878, 2605 Brøndby, att.: Underdirektør Joachim Karthäuser, senest den 22. februar 2001.

Nyt fra Dansk Geofysisk Forening

Dansk Geofysisk Forening

Hjemmeside: www.gfy.ku.dk/~dgf

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

Henning Haack (hh@savik.geomus.ku.dk)

Kristian Keller (krk@kms.dk)

Anders Svensson (as@gfy.ku.dk)

Atomacceleratorer, ^{14}C -datering, havkerner, klimaændringer og grønlandske vikinger

Dansk Geofysisk Forening afholdt juleforedrag den 5. december, hvor Jan Heinemeyer fra Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, fortalte om hvordan anvendelse af acceleratormassespektrometri (AMS) til direkte detektion af ^{14}C og andre langlivede kosmogene isotoper har revolutioneret især ^{14}C -datering pga. den mere end 1000 gange højere effektivitet og den korte

måletid sammenlignet med traditionel måling af henfald med en proportionaltæller.

Med AMS-metoden er muligt at tælle enkeltatomer med en selektivitet på mere end 10^{-15} og en præcision på omkring 2 promille, svarende til 20-30 ^{14}C -års usikkerhed, og anvendelserne strækker sig nu fra geologi, geofysik og arkæologi til atmosfærækemi og biomedicin. Klimahistorisk forskning har også nydt godt af muligheden for datering af havkerner med høj opløsning via makrofossiler (foraminiferer), men der er stadig problemer med kalibrering af ^{14}C -metoden hinsides den etablerede holocæne dendrokronologi. Variationer i geomagnetiske felter, kosmisk stråling og isotopudvekslingen mellem atmosfæren og verdenshavene, der afhænger af havstrømmene (conveyor belt) påvirker $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ -koncentrationen i atmosfærens CO_2 og dermed ^{14}C -kalibreringen.

Til foråret vil Jan Heinemeyer fortælle Kvants læsere, hvordan stabile isotoper (^{13}C og ^{15}N) kan hjælpe os til præcise ^{14}C dateringer, selv om en fiskespisende viking kan blive omkring 400 år "for gammel". Herunder vil han komme ind på de grønlandske vikingers levevis og overlevelse under formodet varierende klimaforhold.

Kvant i 100 år



I september blev det klart, at Risø's reaktor DR3, som blev standset tidligere på året, nu er lukket for bestandig. I den anledning skriver Bente Lebech på side 15 en nekrolog over reaktoren. Reaktoren var central for udviklingen af neutronspreddning i Danmark, og i artiklen side 3 giver Morten Ring Eskildsen og Niels Hessel Andersen et eksempel på de mange anvendelser af neutronspreddning.

"Neutronviften" på billedet her viser, hvordan neutronspreddning er blevet udbredt indenfor forskellige videnskabelige områder og problemstillinger igennem de seneste fire årtier, startende med antiferromagnetisme i 1960'erne til proteiner, polymerer osv. i 1990'erne. Ude i "horisonten" kan man ane de nye forskningsområder, der vil kunne studeres med neutronspreddning i fremtiden, og på side 12 skriver Kim Lefmann om planerne for en ny kraftig europæisk neutronkilde – ESS.

Den 14. december 2000 var det 100 år siden, at fysikeren Max Planck afleverede sin afhandling med virkningskvantet til offentliggørelse i et videnskabeligt

tidsskrift, og datoen regnes ofte for at være kvantefysikkens fødselsdag. Opdagelsen gjorde nu ikke noget større indtryk på datidens fysikere, og Planck selv var heller i starten klar over konsekvenserne af hans arbejde. Plancks mål var ikke at revolutionere den klassiske fysik, men naturkonstanten h , der nu bærer Plancks navn, var et resultat af hans dybe indsigt i termodynamikken. I 1905 foreslog Einstein, at lys var kvantiseret, og gennembruddet kom da Bohr i 1913 introducerede sin atommodel. Siden er kvantefysikken blevet en af de mest succesrige teorier i videnskaben, og nogle glimt af historien kan f.eks. læses i Ove Nathans bog "Stakkels Einstein" [1].

Den fortsatte historie kan følges her i bladet. Som nævnt i forrige nummer tager Kvantets redaktion imod forslag til en ny undertitel på bladet. Bladets titel "Kvant" ser imidlertid ud til fortsat at have en lang og spændende historie foran sig.

[1] Ove Nathan (2000) "Stakkels Einstein og andre fortællinger om fysik", Gyldendal, 196 sider – 199 kroner.