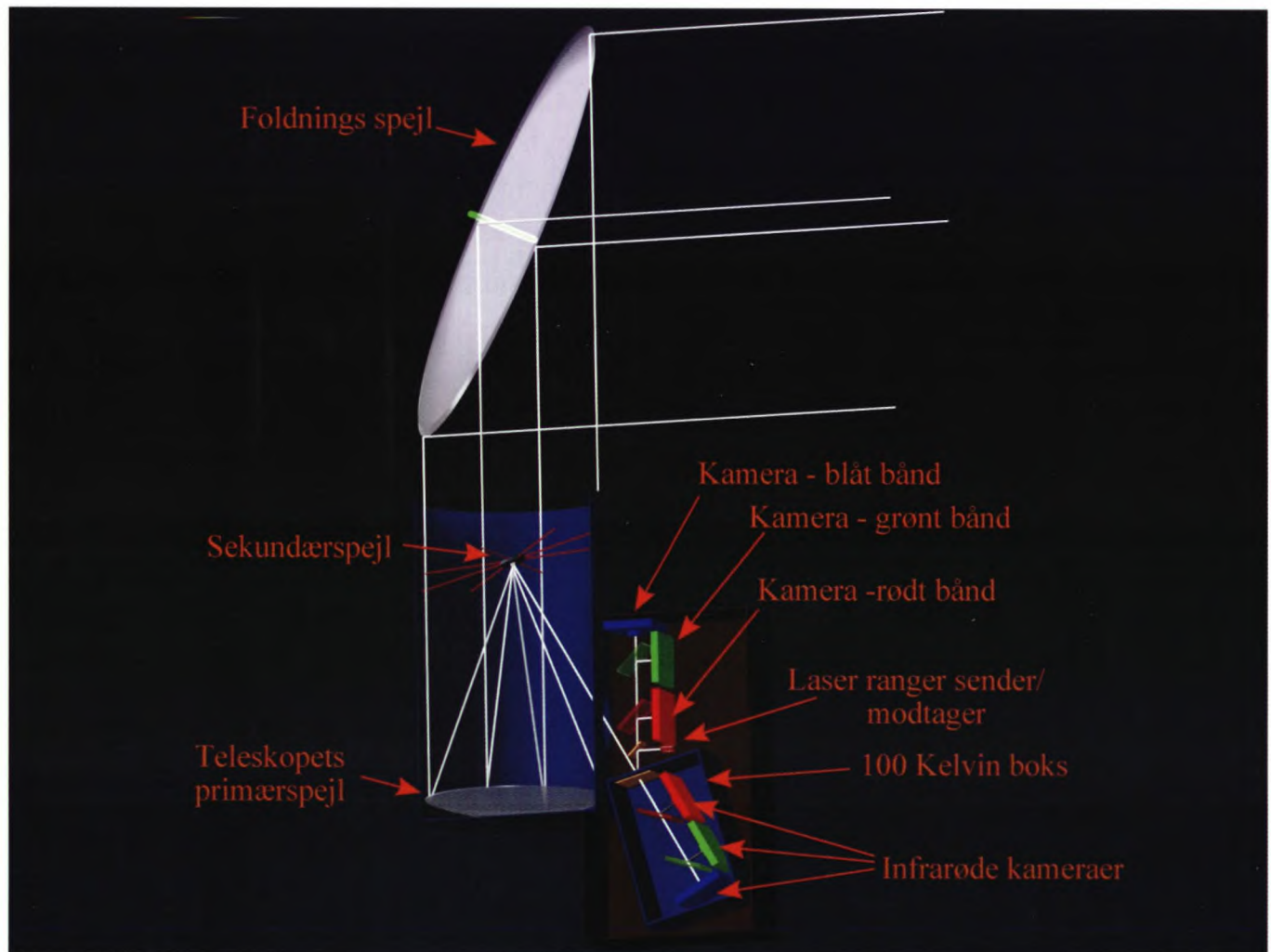




- ASTEROIDER, METEORITTER OG BERING •
- NYHEDER FRA AS, DFS, DGF, SNU OG KVANT •
- MINDEORD FOR OVE NATHAN • X-RAY DEEP FIELDS •
- ENKELT PROTEINBEVÆGELSER I BAKTERIEMEMBRANEN •
- NOBELPRISERNE I FYSIK OG KEMI 2001 • DANSK ASTRONOMI 2010 •

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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, NBI/AFG, 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. Henv. vedr. abonnement til forretningsfører Lene Kørner tlf. 35 32 07 62 (koerner@math.ku.dk).

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



Produktionsplan

Nr. 2-02 udkommer ca. 1. april
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

Indhold:

Optisk pincet-målinger af enkelt protein bevægelser i bakteriemembranen

Lene Oddershede 3

Nobelprisen i kemi 2001

David Tanner 12

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse 14

Asteroider, meteoritter og Bering

René Michelsen, John Leif Jørgensen, Henning Haack og Anja Andersen 15

Dansk Astronomi 2010

Johannes Andersen og Poul Erik Nissen 21

Mindeord for Ove Nathan

Jens Lyng Petersen 24

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab 25

Tilmeldingsblanket – DFS Årsmøde 2002 27

Nyt fra Astronomisk Selskab 28

Nyt fra Dansk Geofysisk Forening 28

Kvant-nyheder

Michael Cramer Andersen 29

X-ray Deep Fields

Jesper Rasmussen 31

Nobelprisen i fysik 2001

Kirstine Berg-Sørensen Bagsiden, (fortsættes side 8)

Henvendelser vedrørende abonnement og adresseændring bedes ske til Lene Kørner (koerner@math.ku.dk, telefon 35 32 07 62). Bestilling af classesæt og ældre numre af bladet (20 kr. / stk.) kan ske på kvant@nbi.dk.

Forsiden:

BERING TELESKOPET

Kvant præsenterer i dette nummer et forslag til en dansk satellit-mission til asteroide-bæltet. Satellitten kommer til at hedde Bering efter den danske opdagelsesrejsende Vitus Bering. Bering's forbiflyvning af en asteroide, vil typisk forløbe således: Stjerne kameraene detekterer og sporer asteroiden på så stor afstand, at den stadig kun vil ses som en prik, eller falsk stjerne. Når asteroiden kommer nærmere, så man kan få et godt billede af den, vil vinkelen mellem Bering's længdeakse, og asteroiden ændre sig. Og jo nærmere asteroiden kommer, desto hurtigere vil denne vinkel ændre sig. Så for at kunne få gode billeder, specielt når asteroiden er nærmest, er teleskopet forsynet med et såkaldt foldningsspejl, der kan dreje teleskopets synsfelt let, hurtigt og præcist.

Optisk pincet-målinger af enkelt protein bevægelser i bakteriemembranen

Lene Oddershede, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

Med moderne fysiske teknikker er det blevet muligt at undersøge biologiske systemer på enkelt molekyle niveau. Dette er fantastisk idet tidligere tiders teknikker, hvor man typisk undersøger ensembler, giver gennemsnitsværdier for de fysiske størrelser, og disse gennemsnitsværdier kan sløre, hvordan det enkelte molekyle fungerer. For en celle, prokaryotisk (f.eks. bakterier) som eukaryotisk (f.eks. menneskeceller), er det af vital vigtighed, hvorledes proteinerne, som sidder i cellevæggen, fungerer. Det er gennem membranproteinerne, at cellen transporterer den livsnødvendige føde samt eventuel medicin og skiller sig af med affaldsprodukter. Sygdomsvira hæfter også til membranproteiner. Der er i løbet af de sidste 10 år påbegyndt undersøgelser af, hvorledes proteiner i den eukaryotiske cellemembran bevæger sig på enkelt molekyle niveau i forsøget på at forklare de bagved liggende mekanismer. Det system, vi har arbejdet med i Optisk Pincet Gruppen på Niels Bohr Institutet, er et protein i bakteriemembranen [1]. Mere specifikt undersøger vi λ -receptoren, der er en pore, som transporterer maltose passivt gennem den ydre cellemembran, og som også er receptor for λ -phage virussen. Vi har modificeret proteinet genetisk således, at der specifikt kan fasthæfte en polystyren kugle til proteinet, når det sidder i den ydre bakterie membran, se Boks 1.

Detektions metoder

Bevægelsen af polystyren kuglen detekteres med to optiske metoder: Single Particle Tracking (SPT) og en optisk pincet. En optisk pincet består primært af en kraftigt fokuseret laserstråle, se Boks 2. Med en optisk pincet kan man fange objekter af størrelsesordenen $1 \mu\text{m}$ der har et brydningsindeks, som er større end det omkringliggende medie. Typisk er det polystyren eller glaskugler, som er fasthæftet til det biologiske system. Ud over at kunne manipulere det fangne objekt, kan pincetten benyttes til at måle kræfter og afstande af størrelsesordenen pico-Newton og nano-meter, der er typiske i biologiske systemer på makromolekylært niveau. Vores optiske pincet har endvidere den fordel, at bølgelængden af lyset er 1064 nm , hvilket stort set ikke absorberes af hverken biologisk materiale eller vand, og således hverken ødelægger eller opvarmer det biologiske system. Opstilling er beskrevet i detalje i [2].

Den optiske pincet er implementeret i et Leica inverteret lysmikroskop. Der er to detektions systemer: 1) Et CCD kamera 2) En kvadrant fotodiode, som opsamler laserlyset efter det har været forbi (og har fanget)

kuglen. Den optisk pincet med kvadrant fotodioden benyttes typisk til korte målinger (et par sekunder) hvor stor rumlig præcision og høj samplingsfrekvens ønskes. Med kvadrant fotodioden kan samples med frekvenser på op til 1 MHz og vi har en rumlig nøjagtighed på omtrent 1 nm .

Billedsekvenserne fra CCD kameraen benyttes til SPT. SPT er en type billedbehandling, hvor der fra et af billederne i den ønskede sekvens klippes en "maske", indeholdende den kugle, hvis position man ønsker at bestemme. For hvert billede udregnes og normeres kryds-korrelations-matricen, som har højst værdi ved den placering af masken over billedet, hvor masken "passer bedst". For en fuldstændig beskrivelse af den anvendte SPT rutine, se Jakob Kisbye Dreyer's speciale [3]. Den rummelige opløsningsevne af SPT rutinen vurderer vi til at være ca. 7 nm . I et almindeligt lysmikroskop kan man typisk se ting ned til ca. 200 nm , så ved at udføre SPT rutinen kan man forbedre opløsningsevnen med en faktor 30! Hastigheden af SPT rutinen er begrænset af CCD kameraet, der tager 25 billeder/sekund. Typisk benyttes CCD kameraet med SPT rutinen til at undersøge hvorledes systemet opfører sig på lange tidsskalaer. Desuden er det stort set en ikke-invasiv teknik, idet man ikke interfererer med systemet ved at tage billeder af det.

En kugle i en optisk pincet

Hvis man ser på bevægelsen af polystyren-kugler fastholdt af en optisk pincet i en vandig opløsning i en dimension x vil kuglen være påvirket af en harmonisk kraft fra den optiske pincet $-\kappa x$, hvor κ er fældens styrke, af en gnidningskraft fra det omkringliggende vand $-\gamma \dot{x}$, hvor γ er friktionskoefficienten, der kan findes vha. Stokes lov: $\gamma = 6\pi\eta r$ (r er radius af kuglen og η er væskens viskositet), samt af $F(T)$, der beskriver de stokastiske kræfter, resulterende fra væskens Brownske bevægelser ved temperatur T . Således fås følgende bevægelsesligning:

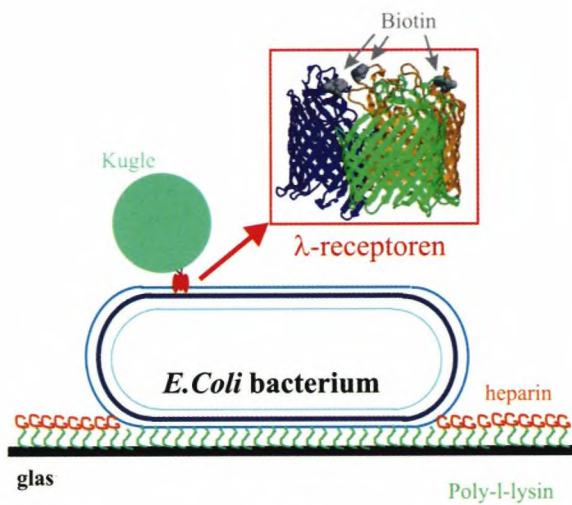
$$m\ddot{x} = -\kappa x - \gamma \dot{x} + F(T) \quad (1)$$

Da Reynolds tallet for systemet er meget lavt, kan venstre siden, det inertielle led, negligeres. Hvis ovenstående ligning Fourier-transformeres er power spektret af positionen x en Lorentz-funktion [4]:

$$P_x(f) = \frac{k_B T}{\gamma \pi^2 (f^2 + f_c^2)} \quad (2)$$

Boks 1. Det biologiske system

For at kunne fasthæfte kuglen specifikt på proteinet, har vi genetisk modificeret bakteriens DNA således, at den sekvens, der koder for λ -receptoren biotinyleres *in vivo*, se reference [1] for en detaljeret gennemgang. Når proteinet er eksporteret til cellemembranen, sidder biotinet ekstracellulært. På figur A er zoomet ind på λ -receptoren i bakteriemembranen, så man kan se, hvorledes biotin forventes at sidde. En streptavidin belagt polystyren kugle kan fasthæfte specifikt til den biotinylerede λ -receptor via en biotin-streptavidin binding. En bakterie har dimensionerne $\simeq 0.5 \times 2 \mu\text{m}^2$, polystyren kuglerne har en diameter på $0.5 \mu\text{m}$, og proteinet har en diameter på omtrent $220 \text{ \AA}$. Diverse kontrolforsøg er udført for at checke, at den diffusion der ses af en kugle på cellemembranen med sikkerhed ER fordi at den er bundet til en (og kun een) diffunderende λ -receptor. Bevægelsen af proteinet er karakteristisk og tydelig nok til, at man med øjnene kan SE det i et lysmikroskop. Filmsekvenser heraf kan ses på vores hjemmeside [7].



Figur A

Figur A skitserer også hvordan prøven er tilberedt: Et dækglass coats med poly-l-lysin, der fungerer som lim og fikserer bakterien. Laget af poly-l-lysin passiveres med heparin for at mindske tiltrækningen mellem kuglerne og dækglasset. Streptavidin belagte polystyrene kugler med en diameter på $0.5 \mu\text{m}$ skylles ind i kammeret og fasthæfter til de biotinylerede λ -receptorer. Derefter skylles der medie (næring) ind til bakterierne, kammeret forsegles og er klart til brug.

med hjørnefrekvens

$$f_c = \frac{\kappa}{2\pi\gamma}. \quad (3)$$

Den optiske pincet udgør et harmonisk potentiale for den fangne kugle, og kuglens positionshistogram følger således en Gaussisk fordeling. Spredningen af fordelingen, σ , har følgende sammenhæng med κ :

$$\sigma^2 = \frac{k_B T}{\kappa}. \quad (4)$$

Model af det biologiske system

For at kunne udtrække fysisk viden om det biologiske system ud fra målingerne er det nødvendigt at opstille en simpel model af det komplekse biologiske system. Modellen, som beskrives i dette afsnit, er udfærdiget af Kirstine Berg-Sørensen, NBI, og en mere præcis og tilbundsående gennemgang heraf kan ses i artiklen [1]. De fysiske størrelser vi ønsker at finde er bla. friktionen, som proteinet føler i cellemembranen, beskrevet ved friktionskoefficienten γ_p , samt diffusionskonstanten, D , der beskriver proteinets bevægelse i membranen. Proteinets modelleres som værende knyttet til kuglen via en meget stiv fjeder med fjederkonstant κ_{bs} (bs står for biotin-streptavidin, der udgør bindingen mellem kugle og protein - se Boks 1). Der er eksperimentel evidens for, at proteinet er koblet til cellevæggen via en harmonisk kobling, som beskrives med fjederkonstanten κ_{cw} (hvor cw står for cell wall). Ud fra energibetragtninger [1] vurderes at $\kappa_{bs} \gg \kappa, \kappa_{cw}$. I en dimension har man således følgende koblede bevægelsesligninger for hhv. kuglen (ligning 5) med koordinat x_b og proteinet (ligning 6) med koordinat x_p :

$$M_b \ddot{x}_b = -\kappa(x_b - x_{\text{trap}}) + \kappa_{bs}(x_p - x_b) - \gamma_b \dot{x}_b + F_b \quad (5)$$

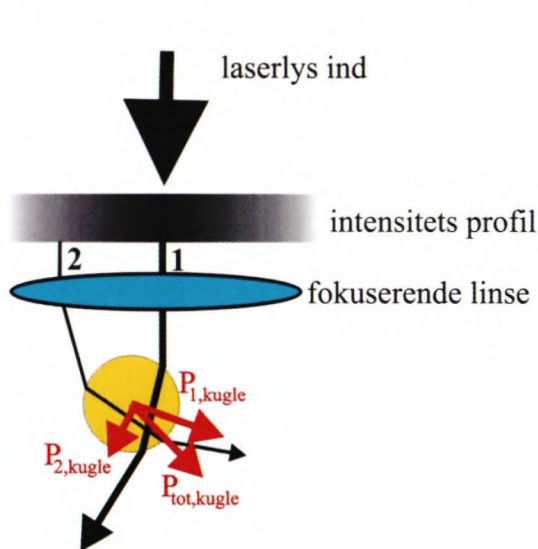
$$M_p \ddot{x}_p = -\kappa_{cw}(x_p - x_{cw}) - \kappa_{bs}(x_p - x_b) - \gamma_p \dot{x}_p + F_p \quad (6)$$

hvor M_b og M_p er massen af henholdsvis kuglen og proteinet. F_b og F_p er stokastiske, tidsafhængige kræfter, som forårsager Brownske bevægelser af henholdsvis kuglen og proteinet. Vi antager, at F_b og F_p kan beskrives som hvid støj, dvs. de er delta-korrelerede og har forsvindende gennemsnit. γ_b kan findes via Stokes lov. x_{trap} er ligevægtspøssitionen af den optiske pincet og x_{cw} er ligevægtspøssitionen af proteinets fasthæftning i cellemembranen. Hvis man Fourier transformerer ovenstående bevægelsesligninger kan man i det relevante frekvensinterval ($f \ll \frac{\kappa_{bs}}{2\pi\gamma_p} \simeq 10^7 \text{ Hz}$) simplificere powerspektret til:

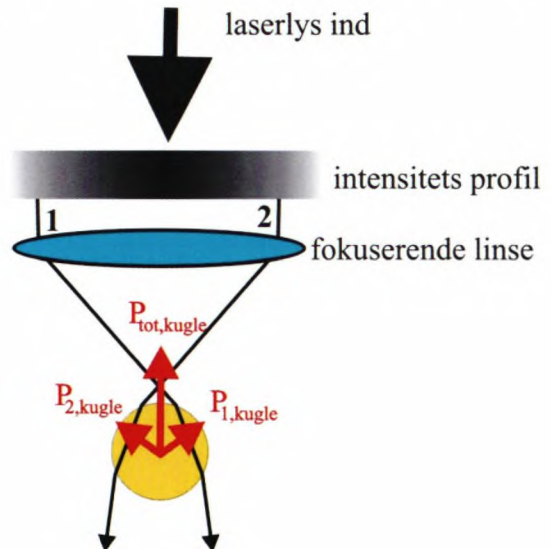
$$P_b(f) \simeq \frac{k_B T}{\pi(\gamma_p + \gamma_b)(f^2 + f_{c,\lambda}^2)} \quad (7)$$

Boks 2. Den optiske pincet

I en laserstråle med Gaussisk intensitets profil der er fokuseret i lysets udbredelsesretning eksisterer en 3 dimensionel intensitets gradient, som giver anledning til en gradientkraft, der trækker objekter med større brydnings indeks end det omkringliggende medie imod intensitets maksimaet (sammenfaldende med fokuspunktet). Gradientkraften kan forklares i to regimer, med stråleoptik i regimet hvor lysets bølgelængde, λ , er væsentligt mindre end den lineære dimension, d , af det fangne objekt, og med elektromagnetisme i det modsatte regime:



Figur A



Figur B

$\lambda \ll d$: Figur A illustrerer en kugle, som befinder sig til venstre for intensitetsmaksimaet. En intens del af lyset, kaldet stråle 1 på figur A, rammer kuglen og brydes jvf. Snells lov. Totalt set ændrer stråle 1 retning og dermed impuls efter passage af kuglen sammenholdt med retningen før. Pga. impulsbevarelse får kuglen en ligeså stor og modsat rettet impulsændring, på figur A kaldet $\mathbf{P}_{1,kugle}$. Ligeledes ændres impulsen af stråle 2, der ikke er så intens som stråle 1, efter passage af kuglen. Kuglen får således også en impulsændring $\mathbf{P}_{2,kugle}$. Tages disse to bidrag i betragtning, får kuglen totalt set en impulsændring $\mathbf{P}_{tot,kugle} = \mathbf{P}_{1,kugle} + \mathbf{P}_{2,kugle}$, hvilket skubber kuglen mod fokuspunktet. Figur B illustrerer en kugle, som befinder sig nedenfor fokuspunktet. De to stråler, hvis effekt illustreres kaldes hhv. 1 og 2 og er i dette tilfælde lige intense. Jvf. argumenter som ovenstående, vil kuglen totalt set få et impulsmoment i retning opad mod fokuspunktet.

$\lambda \gg d$: Det elektriske felt $\mathbf{E}$ inducerer en dipol i den dielektriske kugle med dipolmoment $\mathbf{d}$: $\mathbf{d} = \alpha \cdot \mathbf{E}$, hvor α er polarisabiliteten. Vekselvirkningen mellem dipolen og det elektromagnetiske felt er givet ved: $U = -\mathbf{d} \cdot \mathbf{E}$ og giver anledning til en kraft $\mathbf{F}_{grad} = -\nabla U = \alpha \nabla E^2$, der er proportional med lysets intensitet.

For at have en optisk fælde, er det nødvendigt, at gradientkraften er større end spredningskraften fra lysstrålen, der virker i strålens udbredelsesretning.

$\lambda \simeq d$: I praksis er det i dette regime, at en optisk pincet fungerer bedst og målingerne beskrevet her er udført ($\lambda = 1064$ nm og $d = 500$ nm). I dette regime eksisterer endnu ingen fuldstændige teorier og for at kende de involverede kræfter, må man kalibrere sin opstilling, f.eks. som beskrevet i afsnittet "En kugle i en optisk pincet".

Beskrivelser af fysikken bag optiske pincetter samt anvendelser i biologisk fysik kan bl.a. læses i [8] eller i en populær version [9].

med hjørnefrekvens

$$f_{c,\lambda} = \frac{\kappa + \kappa_{cw}}{2\pi(\gamma_p + \gamma_b)}. \quad (8)$$

Sammenlignes udtrykket for hjørnefrekvensen af protein-kugle komplekset, $f_{c,\lambda}$ (ligning 8) med ligning 3 ses, at protein-kugle komplekset har et powerspektrum som havde det været et enkelt objekt, der bevæger

sig i en væske med friktionskoefficient $\gamma_p + \gamma_b$ i et harmonisk potentiale med fjederkonstant $\kappa_{cw} + \kappa$ og med hjørnefrekvens $f_{c,\lambda}$.

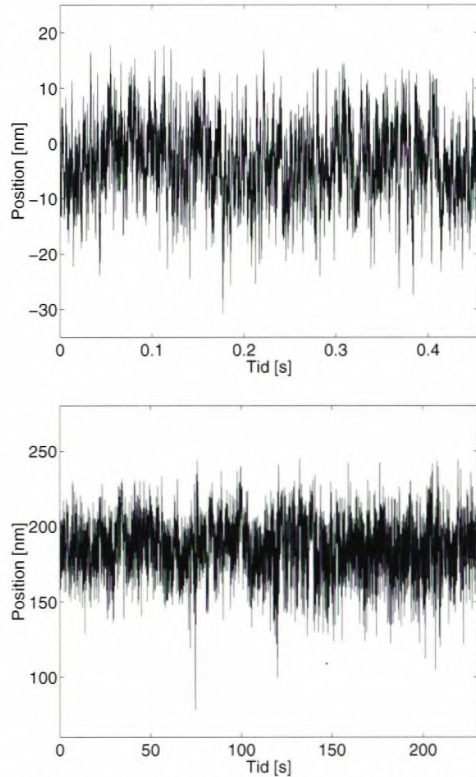
Størrelsen $f_{c,\lambda}$ findes ved at fitte ligning 7 til data. Den indeholder to ubekendte nemlig κ_{cw} og γ_p . κ_{cw} findes ud fra positionshistogrammet: Da positionshistogrammet fittes godt af en Gaussisk funktion, kan vi approximere, at kuglen hæftet til proteinet sidder i et

harmonisk potentiale med fjederkonstant $\kappa_{tot} = \kappa + \kappa_{cw}$. Variansen, $\sigma_\lambda^2 = \langle x_b^2 \rangle - \langle x_b \rangle^2$, af den Gaussiske fordeling kan bestemmes ud fra positionsmålingerne. Når σ_λ^2 således er kendt, kan man finde en værdi for κ_{cw} , idet vi har

$$\sigma_\lambda^2 = \frac{k_B T}{\kappa + \kappa_{cw}}. \quad (9)$$

Når κ_{cw} således er bestemt, kan γ_p findes ud fra ligning 8. Til slut kan diffusionskonstanten af proteinet i bakteriemembranen, D , bestemmes idet:

$$D = k_B T / \gamma_p. \quad (10)$$

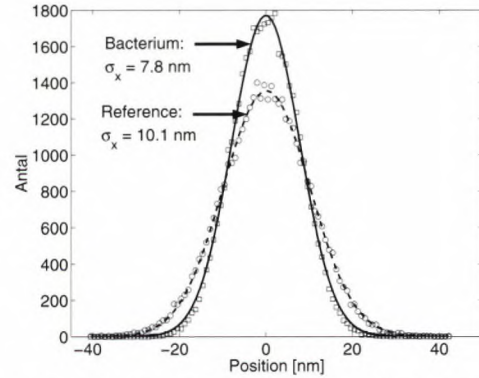


Figur 1. Tidsserier, der viser positionen af en kugle, som er fasthæftet til en λ -receptor, der bevæger sig i bakteriemembranen. a) Tidsserie på 0.45 sekunder, optaget med en optisk pincet. b) Tidsserie på 4 minutter, optaget med SPT. Tids- og positionsskalaer på a) og b) er relative, ikke absolute.

Bevægelse af λ -receptoren

Figur 1a viser en positionsmåling foretaget med den optiske pincet af kuglen på λ -receptoren. Man ser positionen i en dimension som funktion af tid. Der samples med en frekvens på 22000 Hz, dvs. der tages et målepunkt hvert $0.5 \mu s$. Der ses umiddelbart, at proteinet bevæger sig hurtigt frem og tilbage indenfor et område med en lineær udstrækning på ca. 30 nm i det tidsinterval, som målingen varer (0.5 sekund). Figur 1b viser en positionsmåling på den samme kugle på den samme λ -receptor optaget med en anden teknik, nemlig med SPT. Tidsserien i figur 1b

løber over 4 minutter. Det ses, at selv indenfor så langt et tidsinterval, bliver proteinet stadig indenfor et meget begrænset område af bakteriemembranen. De to positionsskalaer og tidsskalaer på hhv. figur 1a og 1b er ikke absolute, det er altså kun relative størrelser, der kan sammenlignes de to figurer imellem.

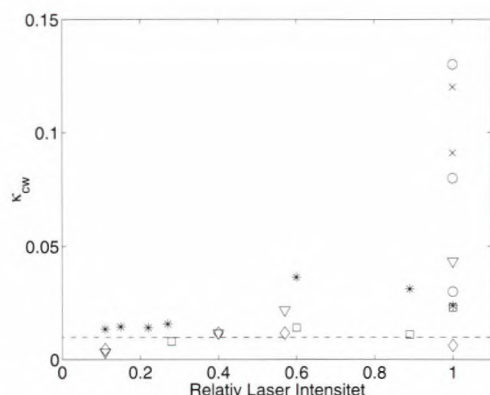


Figur 2. Positions-histogrammer fra hhv. en kugle fasthæftet til en λ -receptor (bacterium) og en fri kugle (reference) i den samme prøve, hvis data benyttes til at finde og kalibrere opstillingen. Linierne på figuren er Gaussiske funktioner, der er fittet til data. Det ses, at kuglens bevægelser er mere restrierede, når den er fasthæftet til bakteriesystemet.

Et histogram, målt med optisk pincet, over positionsdata fra en kugle, der sidder fast på en diffunderende λ -receptor (data fra figur 1a) er vist i figur 2. På figur 2 er også vist et histogram over positionsdata fra en fri kugle fanget i en optisk pincet i den samme prøve. Begge histogrammerne fittes pænt af en Gaussisk funktion, dvs. begge kuglerne bevæger sig i harmoniske potentialer. For den frie kugle er dette ikke overraskende, idet potentialet fra den optiske pincet er kendt at være harmonisk. Men at λ -receptoren totalt set også bevæger sig i et harmonisk potentiale kom som en overraskelse for os. Det er denne observation, der ligger til grund for ligningerne 5 og 6 i model afsnittet. Af figur 2 ses, at bevægelsen af en kugle bundet til λ -receptoren er mere begrænset med spredning $\sigma_\lambda = 7.8$ nm, end bevægelsen af en fri kugle, hvor $\sigma = 10.1$ nm. Positions histogrammet fra SPT data (figur 1b) er ikke vist her, men er ligeledes Gaussisk.

Når σ_λ er bestemt fra positions-histogrammer som figur 2, kan κ_{cw} , fjederkonstanten, der karakteriserer proteinets binding til cellevæggen bestemmes vha. ligning 9. Figur 3 viser κ_{cw} , som funktion af den anvendte relative laser intensitet. Figuren viser resultater fra 6 uafhængige prøver, angivet med hver sin markør. Størrelsen af κ_{cw} lader til at falde med faldende laserintensiteten, men under en vis tærskelværdi af relativ laserintensitet (≈ 0.5) er κ_{cw} uafhængig af laserintensiteten. Biologisk set betyder dette, at den optiske pincet ved høje laserintensiteter måske perturberer det biologiske system. Men ved lave nok laserintensiteter perturberer pincetten ikke systemet og er

blot en detektions metode. Gennemsnitsværdien af κ_{cw} , taget for laserintensiteter under tærskelværdien, er fundet til $\bar{\kappa}_{cw} = (1.1 \pm 0.4) \cdot 10^{-2}$ pN/nm. Den stiplede linie i figur 3 er den gennemsnits værdi man får af κ_{cw} ud fra SPT målingerne, $\bar{\kappa}_{cw,SPT} = (0.98 \pm 0.44) \cdot 10^{-2}$ pN/nm. Inden for usikkerhederne er disse to resultater for κ_{cw} konsistente. Da SPT er en ikke invasiv teknik, er dette et godt check på, at pincetten faktisk ikke perturberer systemet.

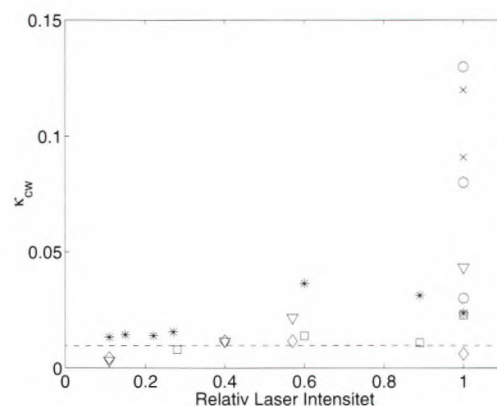


Figur 3. Fjederkonstant κ_{cw} , som beskriver λ -receptorens harmoniske binding til bakteriemembranen. κ_{cw} er målt ved 6 forskellige laserintensiteter, vist med hver sin markør. Den vandrette stiplede linie er gennemsnitsværdien for κ_{cw} fundet ved SPT.

Figur 4 viser power spektret af positionerne for en fri kugle (tynd, hel linie) samt for en kugle fasthæftet til en λ -receptor (tynd, stiplede linie) fra den samme prøve. Begge data sæt er fittede med Lorentz funktioner, henholdsvis ligning 2 (tyk, hel linie) og ligning 7 (tyk stiplede linie) fra modellen af systemet. Når kuglen sidder fast på bakterie systemet bliver hjørnefrekvensen mindre end for en fri kugle, $f_{c,\lambda} < f_c$, og den asymptotiske opførsel for små frekvenser ændres også. Når både hjørnefrekvensen $f_{c,\lambda}$ og fjederkonstanten κ_{cw} kendes, kan man finde friktionskonstanten på proteinet i cellemembranen γ_p og dermed diffusionskonstanten D til at være: $\gamma_p = (2.7 \pm 1.1) \cdot 10^{-8}$ Ns/m og $D = (1.5 \pm 1.0) \cdot 10^{-9}$ cm²/s. Havde proteinet ikke været tvunget til at blive indenfor en radius på ca. 25 nm ville det altså med den observerede diffusionskonstant typisk bevæge sig fra den ene ende af bakterien til den anden på et par sekunder. Indenfor de eksperimentelle usikkerheder er der ikke observeret nogen korrelation hverken mellem D eller γ_p med laserintensiteten. D og γ_p kan kun findes ud fra optisk pincet målingerne idet SPT rutinen er for langsom til at kunne måle og karakterisere den del af proteinets bevægelse, der foregår "uforstyrret" indenfor den begrænsende radius.

Disse målinger og resultater er de første på enkelte proteiner i bakteriemembraner, og derfor eksisterer der ingen tal i litteraturen at sammenligne med. Der er dog lavet målinger på bevægelsen af enkelte proteiner i eukaryotiske cellemembraner. Eukaryotiske cellemem-

braner er væsentligt forskellige fra bakteriemembraner, f.eks. er de langt blødere, idet de primært består af et dobbelt lipidlag. Den eukaryotiske celle har et såkaldt cytoskelet, som er den struktur, der holder cellens facon. En bakterie har ikke noget cytoskelet men derimod en ekstremt kraftig del af den ydre cellemembran, peptidoglykan laget, primært bestående af et krydslinket lag af polypeptider, der opretholder bakteriens facon og gør, at bakterien kan modstå et tryk på op til 50 atm. Vi formoder, baseret på undersøgelserne i [5], at λ -receptoren fæster til peptidoglykan-laget, og at det er denne fasthæftning, som er harmonisk. En gruppe fra Holland [6] har studeret adhesions-proteiner i den eukaryotiske cellemembran ved at trække dem gennem membranen med en optisk pincet, og de finder diffusionskonstanter i intervallet 10^{-9} cm²/s til 10^{-12} cm²/s, indenfor hvilket vores målinger også ligger. Ydermere har de [6] fundet ud af, at hvis man kemisk fjerner cytoskelettet, sidder proteinet bundet i et harmonisk potentiale med en fjederkonstant på $5 \cdot 10^{-3}$ pN/nm, hvilket er ca. halvdelen af den værdi, vi finder for bakteriesystemet.



Figur 4. Power spektrum af positionerne af hhv. en kugle, som er fasthæftet til en λ -receptor (bakterium) og en fri kugle (reference) i den samme prøve. Linierne er Lorentz fit (ligning (2) og (7)) til data.

Konklusioner og visioner

Vi har altså SET bevægelsen af et enkelt molekyle i en bakterie membran, og hvis læseren har lyst, kan en filmsekvens heraf ses på optisk pincet-gruppens hjemmeside [7]. Bevægelsen er blevet målt både med en optisk pincet og SPT. Ved lav laserintensitet stemmer de to målinger overens. Proteinets begrænsning til at bevæge sig indenfor et område med en radius på omtrent 25 nm i bakteriens membran. Indenfor dette område bevæger det sig, som sad det fast på en fjeder med fjederkonstant $\kappa_{cw} \simeq 1.0 \cdot 10^{-2}$ pN/nm og desuden bevæger sig i en viskøs væske med diffusionskonstant $D = (1.5 \pm 1.0) \cdot 10^{-9}$ cm²/s.

Hvorfor er det interessant at vide, hvordan et protein bevæger sig i bakteriens membran? For det første på

grund af proteinfunktionens vitale vigtighed for bakteriens eksistens. For det andet fordi målingerne indirekte giver information om bakteriemembranen, bl.a. fordi diffusionskonstanten er et mål for viskositeten af membranen. Og da peptidoglykan laget i bakteriens membran er et primært mål for antibiotika (uden hvilket 1/4 af os ikke ville være her...) er det af vital interesse at øge den eksisterende viden om bakteriemembranen og måske, ved hjælp af enkelt molekyle metoder at få et mere præcist billede af effekten af antibiotika på enkelt molekyle niveau.

Referencer:

- [1] L. Oddershede, J. K. Dreyer, S. Grego, S. Brown og K. Berg-Sørensen (2002). "The Motion of a Single Molecule, the λ -receptor, in the Bacterial Outer Membrane". Indsendt, kan rekvireres ved henvendelse til oddershede@nbi.dk.
- [2] L. Oddershede, S. Grego, S.F. Nørrelykke og K. Berg-Sørensen (2001). "Optical Tweezers: Probing Biological Surfaces". *Probe Microscopy*, bind 2, side 129–137.
- [3] J. K. Dreyer (2001) "A single molecule study by optical trapping and Single Particle Tracking.", Speciale, Niels Bohr Institutet. Kan rekvireres ved henvendelse til kisbye@nbi.dk.
- [4] F. Gittes og C. F. Schmidt (1998) "Signals and Noise in Micromechanical Measurements." *Methods in Cell Biology*, bind 55, side 129–156.
- [5] J. Gabay og K. Yasunaka (1980) "Interaction of the LamB

Protein with the Peptidoglycan Layer in *Escherichia coli* K12." *Eur. J. Biochem.*, bind 104, side 13–18.

- [6] I. M. Peters, Y. van Kooyk, S. J. van Vliet, B. G. de Grooth, C. G. Figdor og J. Greve (1999) "3D Single-Particle Tracking and Optical Trap Measurements on Adhesion Proteins." *Cytometry*, bind 36, side 189–194.
- [7] På optisk pincet gruppens hjemmeside www.nbi.dk/tweezer under *research* menuen, omtalte projekt, er en film, der viser hvorledes λ -receptoren bevæger sig i bakteriemembranen.
- [8] K. Svoboda og S. M. Block (1994). "Biological applications of optical forces." *Ann. Rev. Biophys. Biomol. Struct.*, bind 23, side 247–285.
- [9] K. Berg-Sørensen (2000) "Den optiske pincet i biologisk fysik", *Gamma*, bind 119, side 11–17.



Lene Oddershede er cand. scient. og Ph.D. fra Syddansk Universitet, Odense. Siden 1998 har hun arbejdet på Niels Bohr Institutet, hvor hun er forskningsadjunkt.

Nobelprisen i fysik 2001

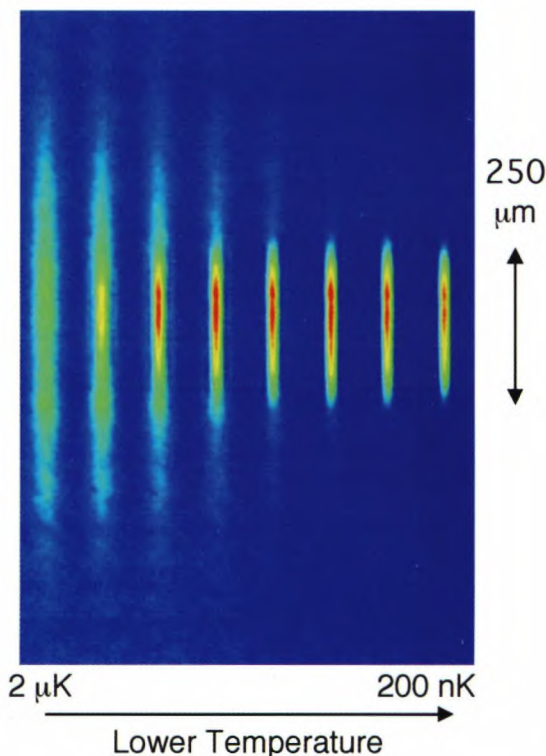
Kirstine Berg-Sørensen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

Fortsat fra bagsiden!

På trods af at det kun er 6 år siden at de første Bose-Einstein kondensater i kolde atomare gasser blev observeret, er feltet idag i rivende udvikling. Bose-Einstein kondensatet er en ny tilstandsform, der kan studeres med en bred vifte af indfaldsvinkler, spændende fra faststoffysik, ikke-lineær fysik og kernefysik til kvanteoptik og atom- og molekylærfysik. Dette gør feltet endnu mere spændende og lovende.

Bose-Einstein kondensering

Partikler kan opdeles i to klasser, fermioner med halvtalligt spin og bosoner med heltalligt spin. Fermioner – som elektroner, protoner og neutroner – opfylder et udelukkelsesprincip, og det er ikke muligt at have mere end en fermion i en given kvantemekanisk tilstand. Flere bosoner – som fotoner – kan derimod godt befinde sig i den samme kvantemekaniske tilstand, de har endog tilbøjelighed til at være i den samme tilstand. Det er nøjagtig hvad der sker ved Bose-Einstein kondensering: Bosonerne samler sig i samme kvantetilstand. Fænomenet blev for fotonernes vedkommende forudsagt af den indiske fysiker S. N. Bose, der



Figur 3. Dannelsen af et kondensat, observeret ikke-destruktivt. Skyen af kolde atomer er cigarformet, da fælde-potentialet er asymmetrisk. Til venstre er skyen ikke kondenseret, mens alle atomerne i skyen yderst til højre er i et Bose-Einstein kondensat. Kilde: MIT gruppens hjemmeside.

fremlagde sine overvejelser for A. Einstein i starten af 1920'erne. Einstein arbejdede videre med ideen og viste at også bosoner med en masse kunne kondenseres i samme kvantetilstand. Men for at atomerne kan kondensere i et Bose-Einstein kondensat kræves en høj faserumstæthed: Antallet af atomer indenfor en terning med sidelængde de Broglie bølgelængden skal være lidt under 3. Dette kræver først og fremmest lave temperaturer, og for laserkølede gasser også en forøget tæthed.

Superfluiditeten af flydende Helium under den såkaldte λ -temperatur tilskrives Bose-Einstein kondensering. Men det er svært at observere kondenseringen direkte pga. den stærke vekselvirkning, der er mellem Helium-atomerne i væsken. Dette problem er man næsten fri for i ultrakolde atomare gasser: Ved de meget lave temperaturer der kan opnås i disse gasser (i nK- μ K området) kan vekselvirkningen mellem atomerne beskrives meget simpelt, som to-atom kollisioner med en given spredningslængde. Omvendt er disse svage to-atom vekselvirkninger en nødvendighed for at Bose-Einstein kondensaterne kan dannes, da de udgør grundlaget for den såkaldte *fordampningskøling*, som vil blive diskuteret i næste afsnit.

Eksperimentel opnåelse af Bose-Einstein kondensering

Som nævnt var udviklingen af laserkøling og fælder for (kolde) atomer et meget vigtigt skridt mod opnåelsen af de ultrakolde gasser. Med *laserkøling* og den *Magneto-Optiske fælde* for atomerne kan atomare tætheder og temperaturer komme i nærheden af $10^{12} - 10^{13}$ atomer per cm^3 og $10 - 500 \mu\text{K}$. Men for at bosonerne kan kondensere skal faserumstætheden som nævnt være lidt under 3, mens den i et godt eksperiment med laserkølede atomer er måske 10^{-5} . I starten af 1990'erne mente man at en højere tæthed var uopnåelig med laserlys til stede, og en anden kølemetode var påkrævet: *Fordampningskøling*. Metoden var blevet udviklet af de forskere, der arbejdede med at opnå Bose-Einstein kondensering i en gas af Brint-atomer, og blev videreudviklet af blandt andre Cornell, Ketterle og Wiemann. Princippet er, at hvis man lader de mest energirige, og dermed "varmeste", atomer undslippe, vil de efterladte atomer vha. elastiske kollisioner opnå en anden termisk fordeling, med en lavere temperatur. Dette fortsættes til en brøkdel af de atomer, man oprindeligt havde fanget, er kølet tilstrækkeligt og kondenserer. I praksis foregår det ved at atomerne holdes fanget i en magnetisk fælde, som beskrevet i figur 1. For at få fordampningen til at foregå tilpas hurtigt påvirkes atomerne med en radiobølge. De mest energirige atomer er på resonans med frekvensen af radiobølgen, og kan derfor bringes til at forlade fælden. Den tilbageblevne gas genfinder termisk ligevægt ved en lavere temperatur. Sænkes radiobølgens frekvens vil flere atomer undslippe, men de tilbageblevne vil have en endnu lavere temperatur og højere tæthed. Hvis der fra starten er tilstrækkeligt med

atomer i fælden, vil en langsom fortsættelse af denne sænkning af radiobølgens frekvens på et tidspunkt lede til dannelsen af et kondensat.

Som det fremgår af figur 1, er grundlaget for den fælde, den kolde gas holdes fanget i, et magnetfelt med en gradient. Man indretter sig, så atomerne så vidt muligt hele tiden har deres magnetiske moment rettet langs magnetfeltet i det punkt, atomet befinder sig i, da atomet derved altid er i den såkaldte "trapping state", den tilstand der kan holdes "fanget i fælden". På figur 1 er det f.eks. tilstanden $|F = 2, m_f = 2\rangle$ i Rb-87. Det er derfor et problem, hvis magnetfeltet forsvinder i et punkt i rummet. Her kan atomernes magnetiske moment ikke forblive rettet langs magnetfeltet, og man risikerer, at atomerne skifter til en tilstand der er "non-trapping". Dette problem blev løst af Boulder gruppen (Cornell, Wieman, og deres studerende og post-docs) ved den såkaldte "TOP"-fælde. "TOP" er forbogstaverne i "Time-averaged Orbiting Potential", og fælden består dels af et kvadrupol magnetfelt, der varierer lineært i rummet, dels af et magnetfelt, der er konstant i rummet, men oscillerende i tid. Hvis oscillationsfrekvensen er mindre end atomernes Larmor-frekvens, men meget større end den frekvens hvormed atomerne bevæger sig rundt i fælden, opfatter atomerne kun middelværdien af dette oscillerende felt, og effekten er, at potentialet, som atomerne befinder sig i, er harmonisk i bunden af potentialet, og lineært højere oppe (se figur 2). Dette potential giver anledning til ellipsoidt formede skyer af kolde atomer, med et forhold mellem halvakslerne på $\sqrt{8}$.

Wolfgang Ketterle og hans gruppe løste problemet med det forsvindende magnetfelt på anden vis: I deres første serie af forsøg sendte de en blåskiftet laserstråle, der frastøder Na-atomerne i "indfangningstilstanden", gennem det punkt i rummet hvor fældens kvadrupol felt var nul, og atomerne oplevede derfor et potential, der varierede lineært med atomets position fra fældens centrum, men med et stærkt frastødende potential lige i fælde-centrum. I senere forsøg skiftede gruppen kvadrupol-fælden ud med en anden konfiguration af strømførende spoler som gav et ikke-forsvindende minimums-magnetfelt. Med denne konfiguration er det muligt at lave både "cigarformede" og "pandekageformede" kondensater. Cigarformen ses tydeligt i figur 3, der også demonstrerer dannelsen af et kondensat. I figurens venstre del er der "kun" en kold sky af Na-23 atomer, mens alle atomerne i skyen yderst til højre befinder sig i et Bose-Einstein kondensat.

Det kan umiddelbart virke underligt at f.eks. Na og Rb er at finde som frie atomer fremfor som molekyler ved de lave temperaturer, vi taler om. Grunden til at molekyldannelse kun er et meget lille problem for kondensaterne er, at selvom tætheden er høj nok til at kondensatet dannes, er den ikke høj nok til, at der er nogen betragtelig sandsynlighed for at atomerne kombinerer sig til di-atomare molekyler over det tidsrum eksperimenterne udføres i! Men spredningsegenskaberne for

det pågældende atomare system er vigtige for muligheden for kondensat-dannelsen, og forskningen indenfor atomare kollisioner har uddraget en række vigtige informationer af studier af kondensaternes fysik. Rb-87 og Na-23 er bosoner, hvis spredning ved lav energi er frastødende. Li-7 er også en boson, men her er spredningen tiltrækkende, og antallet af atomer, der stabilt kan befinde sig i et Bose-Einstein kondensat, er som følge heraf begrænset til nogle tusinde i en typisk fælde. Til sammenligning er der typisk nogle millioner atomer i Rb og Na kondensaterne. Allerede i 1995, umiddelbart efter observationen af Bose-Einstein kondensation af Rb-87 i Boulder, målte Randall Hulet og hans gruppe ved Rice University, Houston, Texas, signaler, der tydede på dannelsen af et kondensat af Li-7, men først i 1997 var en tydelig detektionsmetode for dette lille kondensat udviklet.

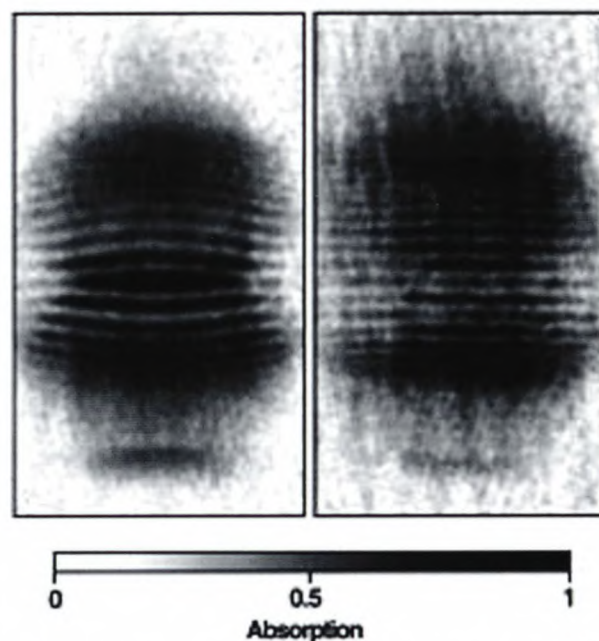
De første studier af Bose-Einstein kondensaters fysik

I de allerførste studier af Bose-Einstein kondensaterne undersøgte såvel gruppen i Boulder, som den ved MIT, ekspansionen af skyen af Bose-kondenserede atomer og eksitationsspektrene af kondensaterne. Den kondenserede gas kunne eksiteres ved at lade den magnetiske fælde variere i styrke, eller en laserstråle kunne indsendes et bestemt sted i kondensatet. Nogle af resultaterne var forventede, mens andre fremprovokerede teoretiske overvejelser af hvad der sker i et Bose-Einstein kondensat ved endelig temperatur og i en ikke-uniform rumlig fordeling.

I et perfekt Bose-Einstein kondensat kan alle atomerne i kondensatet beskrives ved én bølgefunktion, med én fase. Det var derfor også oplagt som en af de første ting at søge at måle to kondensaters interferens. Dette krævede dog først forbedringer af detektionsteknikken: Eksistensen af de første kondensater blev målt destruktivt ved at observere tætheden i skyen af atomer efter kondensatet blev "sluppet fri" af fælden og gassen derfor kunne ekspandere. Denne målemetode forhindrede f.eks. også observationen af tidsudviklingen efter en eksitation. Derfor udviklede gruppen ved MIT en ikke-destruktiv måleteknik baseret på forskelle i faseskift afhængig af tætheden af den kolde gas. Dette tillod dem dels direkte at måle dannelsen af kondensatet ikke-destruktivt, som illustreret i figur 3 og at studere udviklingen af kondensatet efter en eksitation. Samme målemetode gjorde det muligt at se f.eks. interferensmønstre, som vist i figur 4.

En anden egenskab ved det perfekte Bose-Einstein kondensat er at atomerne i samme tilstand måtte kunne bringes til at "udsende" koherente atomer, præcis som koherente fotoner fra en laser. Det lykkedes således gruppen ved MIT at skabe en såkaldt "atom-laser", der udsendte atomer "i pulser", præcis som fotonerne i en pulseret laser. Senere har andre grupper, f.eks. i München og ved NIST, Gaithersburg, lavet "kontin-

uerede atom-lasere". Efterfølgende er der lavet en del andre eksperimenter, hvor analogien til optik – særligt ikke-lineær optik eftersom atomerne vekselvirker med hinanden – er eftervist.



Figur 4. Interferens mellem to kondensater. Kilde: MIT gruppens hjemmeside.

Forskerne i Boulder har foruden eksitationer studeret kondensater af to forskellige magnetiske kvantetal i Rb-87, hhv. $|F = 2, m_f = 2\rangle$ og $|F = 1, m_f = -1\rangle$. Rb-87, $F=2$ blev kondenseret ved metoden som beskrevet ovenfor, mens Rb-87, $F=1$ kondenseredes vha. såkaldt sympatetisk køling, hvor kollisioner mellem kolde Rb-87 atomer i de to tilstande yderligere afkøler atomerne i $|F = 1, m_f = -1\rangle$ tilstanden. Disse studier har ledt til en interessant eksperimenter hvor effekter fra atom- og molekylfysik er iblandet effekterne af kvantestatistik.

Bose-Einstein kondensering i andre fysiske systemer

De isotoper af alkali-atomer, der har et ulige antal nukleoner i kernen er bosoner. Alkali-atomer er de atomer, der først blev laserkølet, og det var derfor naturligt også at fortsætte mod Bose-Einstein kondensater med disse atomer. En oplagt kandidat, som også var blevet laserkølet med stor succes, bl.a. ved École Normale Supérieure i Paris, er Cs-133. Gruppen her, ledet af Jean Dalibard, arbejdede derfor også i en årrække på at opnå kondensering af Cs-133 – men fandt at Cs ikke kunne lade sig kondensere ved de ovenfor nævnte metoder

pga. nogle helt specielle spredningsegenskaber i form af en resonans, der gav anledning til en høj tabsrate af de koldeste atomer. Det seneste skud på stammen af kondenserede kolde atomer er metastabilt He.

Brint-atomet i spin-polariseret form er en anden oplagt kandidat. Grupper ved MIT (under ledelse af D. Kleppner og T. J. Greytak) og i Amsterdam (I. F. Silvera og J. T. M. Walraven) var allerede i 80'erne i gang med eksperimenter for at afkøle og fortætte spin-polariseret brint for at opnå et Bose-Einstein kondensat. Brint-atomet's energi-niveau'er lagde dog en alvorlig hindring i vejen mod målet: Det er ikke muligt at laserkøle brint pga. kravet om en meget kortbølget/energigig laserstråle. I 1998 lykkedes det endelig MIT-gruppen at producere et Bose-Einstein kondensat af spin-polariseret brint, med brug af kryogeniske metoder efterfulgt af fordampningskøling i en magnetisk fælde.

Som nævnt ovenfor menes superfluiditeten af He-4 ved lave temperaturer at skyldes dannelsen af et Bose-Einstein kondensat. Et andet system, der udviser karakteristika fælles med Bose-Einstein kondensater er dannelsen af excitoner i halvledere. Excitoner består af bundne tilstande af ladningsbærerne elektroner og huller. Men også her er der tale om et yderst kompliceret system af vekselvirkende bosoner, og det kan være svært direkte at studere effekter af bosonernes kvantestatistik.

Den nyeste forskning

Som det fremgår af det ovenstående, er der i dag en hel del forskningslaboratorier, der med success har frembragt Bose-Einstein kondensater. Forskningen indenfor Bose-Einstein kondensater har bredt sig i mange forskellige retninger, og et tilfældigt nummer af det ansete tidsskrift *Physical Review Letters* vil typisk indeholde 3-4 artikler omhandlende forskning, der involverer Bose-Einstein kondensater. Et indblik i hvort stort feltet er blevet kan også fås, hvis man besøger den særlige BEC hjemmeside på Georgia Southern University [5].

Et af disse kondensater er at finde i laboratoriet hos den danske fysiker Lene Hau ved Rowland Institute for Science i Cambridge, Massachusetts, USA. Lene Hau har udnyttet den høje tæthed i kondensaterne til at bremse en lysstråle til meget lave hastigheder: Den høje tæthed i den kolde atomare gas ændrer ved gassens brydningsegenskaber, og dette kan udnyttes til at ændre drastisk på lysets hastighed. Det er også lykkedes Lene Hau's gruppe at lagre information fra en lysstråle i kondensatet, som de senere har kunnet "læse" igen.

Det er desuden lykkedes en gruppe, under ledelse af M. S. Chapman, ved Georgia Technical University, Atlanta, USA, at skabe et Bose-Einstein kondensat af Rb-87 atomer direkte i en optisk fælde. Denne fælde består af to kraftigt fokuserede laserstråler og udgør en såkaldt dipolfælde. I dette eksperiment blev atomerne først afkølet og fanget vha. en magneto-optisk

fælde, som i de tidligere eksperimenter, men istedet for overførsel af atomerne fra den magneto-optiske fælde til en ren magnetisk fælde, blev atomerne ført ind i den optiske dipolfælde. Herefter anvendtes også fordampningskøling, som i dette tilfælde udmøntedes ved at intensiteten af lyset i dipolfælden blev sænket hvormed potentialet hvori atomerne var fanget blev gjort svagere.

Bose-Einstein kondensater i periodiske potentialer udgør også en del af den nyeste forskning. Her observeres fænomener som Bloch-oscillationer og "Josephson junctions", kendt fra faststoffysikken.

Andre eksempler inkluderer studier af fermion-boson systemer, rotationelle eksitationer i kondensaterne, og molekylfysik i form af Feshbach resonanser.

Hvad sker der i Danmark?

Både ved Københavns og Aarhus Universitet findes grupper, der arbejder med kolde atomare gasser, såvel teoretisk som eksperimentelt. I Århus benyttes kolde atomare gasser til kvanteoptiske eksperimenter, med det formål at lave "spin-squeezing" og "entanglement" i en tæt atomar gas. Om nødvendigt vil gruppen her, under ledelse af Eugene Polzik, arbejde mod at opnå et kondensat. Ved Københavns Universitet arbejder Jan W. Thomsen på at skabe et Bose-Einstein kondensat af Mg atomer i en optiske fælde. Begge steder er der også stærke teori-grupper, der studerer kolde atomare gasser, herunder effekter af kvantestatistik: Ved Københavns Universitet og NORDITA arbejder en gruppe under ledelse af Ben Mottelson, Christopher Pethick samt Henrik Smith med mange problemer i systemer af kolde gasser, både bosoner og ferminer. I Århus arbejder Klaus Mølmer og hans gruppe fortrinsvis med at studere kvanteoptiske egenskaber ved de kolde atomare gasser.

Om prismodtagerne

Eric Cornell er forsker ved National Institute of Standards and Technology (NIST) i Boulder, Colorado, og adjungeret professor ved University of Colorado, Boulder. Han har arbejdet i Boulder siden 1990, hvor han kom til JILA under University of Colorado, Boulder, som postdoc. Han tog sin Ph.D. fra MIT i 1990 og er 39 år gammel.

Wolfgang Ketterle er tysk statsborger, men har arbejdet ved Massachusetts Institute of Technology (MIT), Cambridge, siden 1990, hvor han blev professor i fysik i 1997. Ketterle har en Ph.D. grad fra Ludwig-Maximilians Universitetet i München fra 1986. Ketterle er 44 år.

Carl Wieman, 50, er professor ved University of Colorado, Boulder, hvor han har været siden 1984. Han har sin Ph.D. grad fra Stanford University (1977), og er desuden æresdoktor ved University of Chicago.

Referencer:

- [1] Klaus Mølmer (1997) "Kolde atomer", *Kvant*, bind 8, nr. 3 (nov.), side 1-12.
- [2] Peter Ditlevsen (1996) "Bose-Einstein-kondensatet, en ny tilstandsform for gas", *Naturens Verden*, side 254-260.
- [3] physicstoday.org/pt/vol-54/iss-10/nobel.html
- [4] www.nobel.se
- [5] amo.phy.gasou.edu/bec.html/



Kirstine Berg-Sørensen er forskningslektor ved Niels Bohr Institutet. Hendes forskning er nu koncentreret omkring biologisk fysik, men hun arbejdede indtil 1998 med kolde atomers fysik.

Nobelprisen i kemi 2001

David Tanner, Kemisk Institut, Danmarks Tekniske Universitet

Årets Nobelpris i kemi er blevet tildelt William S. Knowles (USA), Ryoji Noyori (Japan) og K. Barry Sharpless (USA) for deres banebrydende forskning indenfor feltet "katalytisk asymmetrisk organisk syntese".

Hvad er en katalytisk reaktion?

I en katalytisk reaktion bruges en *katalysator*, som er et stof der kan deltage i en kemisk reaktion og hjælpe til med at omdanne et stof (udgangsmateriale) til et andet (produkt) uden selv at forandres. Efter at reaktionen er færdig kan katalysatoren bruges igen og dermed er det kun nødvendigt med en brøkdel af katalysatoren for at kunne omdanne en stor mængde udgangsmateriale til produkt.

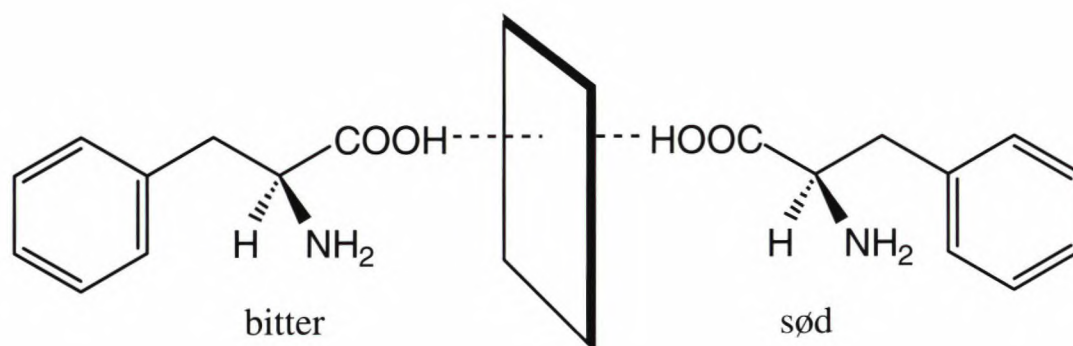
Et godt billede på katalyse kan være når man trækker en kop kaffe. Normalt putter man mønten i automaten og tager sin kaffe. Det svarer til at katalysatoren (mønten) forbruges ved reaktionen (omdannelse af pul-

verkaffen). Putter man derimod mønten i automaten, trækker kaffen og får sin mønt tilbage(!), har man det der svarer til en katalytisk process hvor mønten er katalysator.

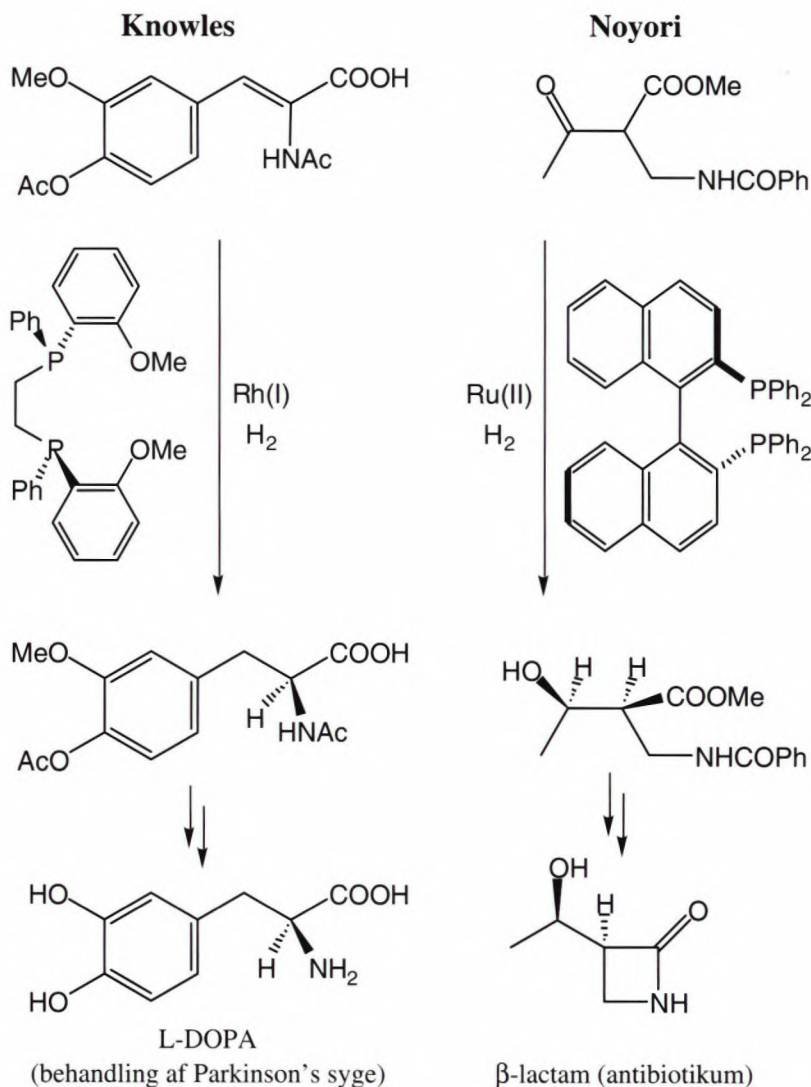
Hvad er asymmetrisk organisk syntese?

Organisk kemi omhandler kemien af stoffer der indeholder kulstof og en vigtig del af den organiske kemi er organisk syntese dvs. fremstilling af komplekse molekyler ved at danne nye bindinger imellem kulstofatomer eller imellem kulstof og andre atomer (H, O, N, S osv.).

Asymmetrisk organisk syntese omhandler fremstilling af chirale molekyler, dvs. molekyler der kan forekomme i to *ikke-identiske spejlbilledsformer* (*enantiomerer*, se figur 1). Ordet "chiral" kommer fra det græske ord "cheir" som betyder "hånd". Dine hænder er faktisk ikke-identiske spejlbilleder!



Figur 1. Forskellige biologiske egenskaber hos molekyler der er ikke-identiske spejlbilleder (enantiomerer). Figuren viser enantiomererne af aminosyren fenylalanin.



Figur 2. Eksempler på industrielle applikationer af katalytisk asymmetrisk reduktion.

En relativ ny og meget spændende udvikling indenfor den organiske syntese er brugen af uorganiske stoffer såsom metalsalte som hjælpemiddel i syntesen. Dette interdisciplinære forskningsområde kaldes *metalorganisk kemi* og danner grundlag for årets Nobelpris i kemi.

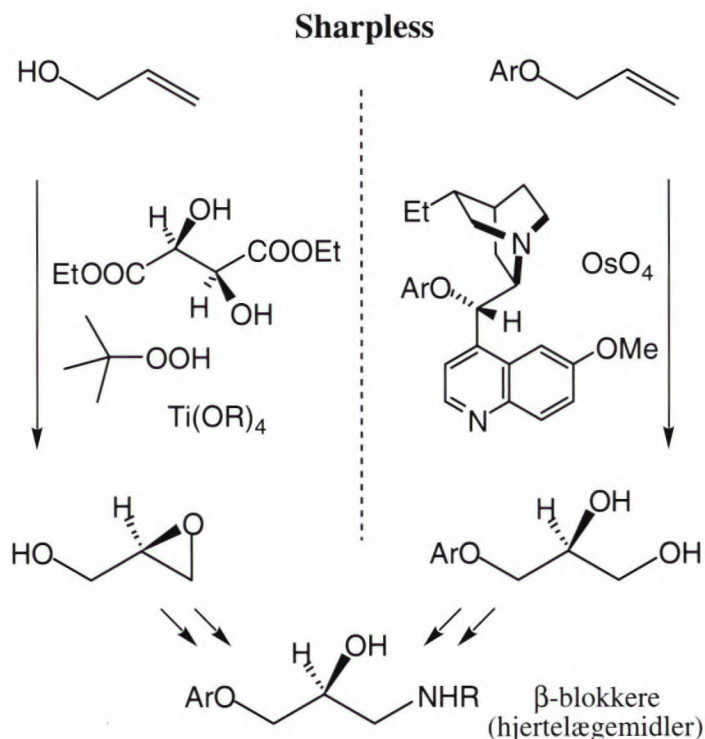
Hvorfor er asymmetrisk organisk syntese vigtig?

Den moderne lægemiddelindustri er hovedsagligt baseret på organisk kemi og dermed også på organisk syntese. Det skyldes at langt de fleste lægemidler er organiske stoffer. Disse stoffer er ofte meget komplekse og besidder en tredimensional struktur opbygget af kulstofatomer. Mange lægemidler er desuden chirale molekyler og ved fremstilling af disse er det yderst vigtigt at kunne holde styr på produktets rummelige struktur, da det er altafgørende for lægemidlets virkning i levende organismer. Et chiralt lægemiddel skal vek-

selvirke med kroppens "receptorer" der er bygget op af andre chirale molekyler: receptoren og lægemidlet skal således passe som "hånd i handske" - det er jo svært at tage din venstre handske på din højre hånd! Det er velkendt at enantiomerer kan have meget forskellige biologiske egenskaber (se f.eks. figur 1) og et skrækkeligt eksempel på dette er det kendte lægemiddel Thalidomid, der først blev anvendt som en blanding af de to mulige enantiomerer. Kun den ene spejlbilledsform havde den ønskede beroligende effekt, mens den anden forårsagede misdannede fostre.

Hvad har årets Nobelpristagere bidraget med?

Årets Nobelprismodtagere har udviklet chirale katalysatorer for to af de vigtigste reaktionstyper indenfor organisk syntese: *reduktion* (Knowles, Noyori) og *oxidation* (Sharpless). Katalysatorerne er alle baseret på metalorganiske komplekser der er i stand til at forvandle ikke-chirale udgangsmaterialer til chi-



Figur 3. Eksempler på applikationer af katalytisk asymmetrisk oxidation.

rale produkter som består af kun en af de to mulige spejlbilledsformer. Prismodtagerne har udviklet chrale *ligander* som indeholder fosfor, ilt eller kvælstofatomer der binder til metallet og dermed sørger for at den katalytiske reaktionen finder sted i et chiralt miljø. Som nævnt tidligere, i et katalytisk system kan en lille mængde chiral ligand give et meget stort udbytte af et nyt chiralt stof. Alle tre forskere har udviklet katalysatorer der bruges i industrielle processer til fremstilling af lægemidler og andre biologisk aktive stoffer. Nogle eksempel kan ses i figur 2 og 3, med chrale katalysatorer baseret på metallerne Rhodium (Rh), Ruthenium (Ru), Titan (Ti) og Osmium (Os).

Forskningsområdet katalytisk asymmetrisk organiske syntese er internationalt set et af de mest vigtige felter inden for organisk kemi. I Danmark er der aktive forskningsgrupper inden for feltet, bl.a. ved "Center for Metal-Catalyzed Reactions" i Århus og ved Kemisk In-

stitut, DTU.

Referencer:

- [1] www.nobel.se/chemistry/laureates/2001/



David Tanner er professor i organisk kemi ved Kemisk Institut, DTU og interesserer sig for metalorganisk kemi samt asymmetrisk organisk syntese og katalyse.

Forårsprogram fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Forårets program har temaet "*Livet på jorden*". I denne serie har professor Bent Foltmann i januar talt om "Stenaldermennesker i atomtiden".

De næste foredrag er planlagt til 25. februar, 11. marts, 15. april, 13. maj, og 10. juni 2002. Alle foredragene starter kl. 19.30. Oplysninger om foredragene vil blive lagt ud på SNU's hjemmeside: www.snu.nbi.dk/program.htm

Asteroider, meteoritter og Bering

René Michelsen, *Astronomisk Observatorium, NBIfAFG*, John Leif Jørgensen, *Ørsted*DTU*, Henning Haack, *Geologisk Museum*, Anja Andersen, *Astronomisk Observatorium, NBIfAFG*.

Indledning

En af de største tilbageværende hvide pletter i vores Sol-system er Asteroidebæltet. Asteroidebæltet danner bro mellem de jordlignende planeter i det indre Sol-system og de store primitive gasplaneter i det ydre Sol-system. Ud af de i øjeblikket 130.000 kendte asteroider har kun én været hovedmålet for en rumsonde (NEAR til Eros) og kun 3 andre er studeret af forbipasserende sonder på vej til andre mål.

Asteroider er yderst interessante objekter. Dels er de meget forskelligartede, dels har de en meget spændende dynamisk historie. Men samtidig er mange af de tilbageværende asteroider for små eller for sent udviklede til at producere tilstrækkeligt med varme til at sætte gang i en geologisk udvikling. De indeholder derfor stadig materiale fra Sol-systemets oprindelse i uændret form. Meteoritter fra disse asteroider tillader os at bestemme Sol-systemets alder og studere detaljer i Sol-systemets allertidligste voldsomme udvikling hvor gas blev til støv og senere planeter.

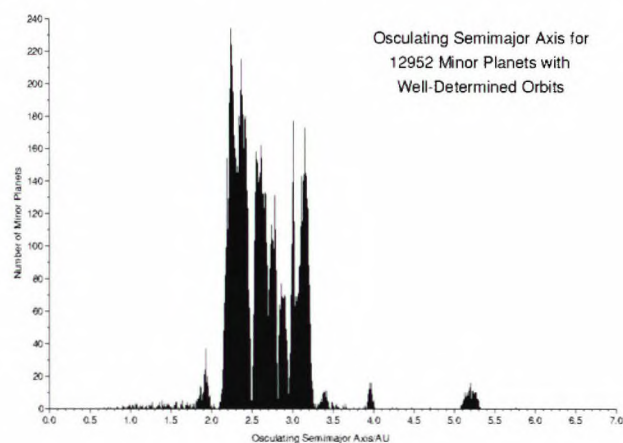
I det følgende vil vi præsentere et forslag til en dansk satellit-mission til asteroidebæltet. På denne måde vil vi kunne bidrage med en mængde ny information og være med til at afdække denne hvide plet. Vi har valgt at kalde satellitten Bering, efter den danske opdagelsesrejsende Vitus Bering. Danmark står i en meget stærk position til netop dette projekt, som i sit design tager udgangspunkt i dansk udviklet teknologi. Takket være erfaringen fra Danmarks første satellit, Ørsted og den store kompetance opnået som følge af Danmarks success som rumnation, vil det være muligt at bygge Bering som et rent dansk projekt. Ud over at være videnskabeligt og teknologisk nyskabende udmærker projektet sig også ved at være relativt billigt, hvilket er et sjældent syn inden for rumforskning, og nærmest uhørt for interplanetariske missioner af den art.

Asteroiders dynamik

Siden den første januar 1801, hvor asteroiden Ceres blev opdaget af Giuseppe Piazzi i Palermo, er der fundet over 130.000 asteroider, heraf dog kun ca. 30.000 i så velbestemte baner. Trods det store antal asteroider er den totale masse kun omkring 2.3×10^{21} Kg, eller ca. 0.04% af Jordens masse.

Netop asteroiders små masser i forhold til planeternes masser, gør at de er meget dynamisk aktive, dvs. der kan optræde store ændringer i deres baner på relativt korte tidsskalaer, typisk mellem nogle hundrede og nogle millioner år. En meget vigtig årsag til dette er de såkaldte resonanser i middelbevægelsen

mellem en asteroide og f.eks. Jupiter, som er et heltals-forhold mellem omløbsperioderne af planeterne. Eksempelvis betyder 3/1 resonansen at for hver eneste omgang Jupiter kredser omkring Solen, har asteroiden kredset 3 gange rundt om Solen. Disse resonanser sætter et meget stærkt præg på den dynamiske fordeling af asteroider i asteroidebæltet, se figur 1.



Figur 1. Oversigt over fordelingen af asteroider i asteroidebæltet. Asteroidernes halve storakse i forhold til Solen ses langs x-aksen, medens antallet af asteroider ses langs y-aksen. Figuren er fra Minor Planet Center, <http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mpc.html>

Man kan umiddelbart se 3 store huller i asteroidebæltet, nemlig for 3/1 resonancen ved 2.50 au, 5/2 resonansen ved 2.82 au, samt 7/3 resonansen ved 2.96 au. Disse huller kaldes under et for Kirkwood-gabene. Omvendt findes der også resonanser som holder asteroiderne fast i bestemte baner, hvilket også kan ses tydeligt på figur 1. Gruppen af asteroider kaldet Hilda-asteroider i 3/2 resonansen ved 3.97 au, samt Trojanerne i resonansen 1/1 ved 5.20 au. Trojanerne er rent faktisk to grupper af asteroider låst fast i Jupiters Lagrange-punkter.

Kirkwood-gabene er opstået, fordi at asteroider der befinder sig i de omtalte resonanser har nogle stærkt kaotiske baner, som vil undergå voldsomme ændringer i eccentriciteten, og dermed vil asteroiderne krydse Mars-banen, og evt. Jordens bane, hvorpå asteroiderne kan vekselvirke, evt. kolliderer, med disse planeter, og dermed forsvinde fra resonans-områderne.

Nylige studier har vist at dynamikken af asteroider i asteroidebæltet er stærkt domineret af et utal resonanser med både Jorden, Mars, Jupiter, Saturn og Uranus, som dog ikke sætter samme tydelige fingertryk som resonanserne beskrevet oven for. Denne type undersøgelser

Type	Karakteristika
C	Almindelige i den ydre del af bæltet - tilsyneladende relateret til CI og CM kulkondritter.
D	Dominerer uden for 3.25 AU. Rødlige, ingen meteoritanaloger.
P	Almindelige nær yderkanten af hovedbæltet. Ingen meteoritanaloger.
T	Sjældne og af ukendt sammensætning. Måske omdannede kulkondritter.
K	Mulige moderlegemer for CV og CO type kulkondritter.
A	Sjælden type med rødtligt spektrum. Indeholder olivin. Muligt moderlegeme for brachinitter.
M	Almindelige i hovedbæltet. Består formentlig af FeNi metal.
Q	Kun tre kendte asteroider. Spektrene ligner de almindelige kondritter.
R	Kun en kendt, 349 Dembovska. Består af olivin, pyroxen og FeNi metal.
S	Meget almindelige i den indre del af bæltet. Indeholder metal, olivin og pyroxen.
V	Vesta og nogle få relaterede asteroider er de eneste kendte V-typer. Rige på pyroxen.
E	Sjælden type, der måske er relateret til enstatit kondritter.

Oversigt over forskellige typer asteroider ordnet efter albedo. De øverste har en albedo på under 0.1 de nederste på over 0.3.

er vigtige, da de vil kunne give en rent dynamisk vurdering af antallet af kollisioner med Jorden, men netop fordi dynamikken er meget kompliceret kræver det omhyggelige undersøgelser for at nå så vidt.

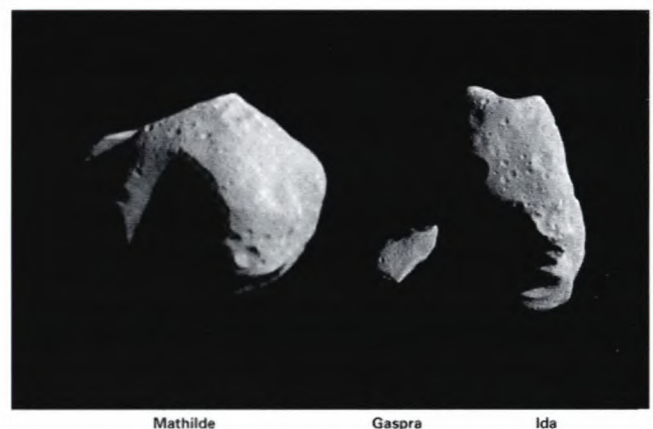
Jordnære asteroider

En gruppe af asteroider der studeres flittigt er asteroider med baner der fører dem meget tæt på Jorden, med fare for kollision, de såkaldte "Near-Earth Asteroids", NEA. En asteroide er en NEA hvis dens mindste afstand til Solen er mindre end 1.3 au.

At objekter har kollideret med Jorden vidner både kratere på jordoverfladen, og meteoritfund om. Spørgsmålet er imidlertid hvor hyppigt disse kollisioner finder sted i dag, og hvilke konsekvenser det vil have hvis en sådan kollision finder sted. For at besvare disse spørgsmål er der iværksat meget intense eftersøgningsprogrammer efter jordnære asteroider, for at få et begreb om hvor mange der findes. Disse eftersøgninger har bidraget med enorme opdagelseshastigheder, for tiden bliver der opdaget mellem 2000 og 3000 asteroider om måneden, hvoraf ca. 30 er NEAer. Umidledbart er det dog kun relativt klare objekter man finder, dvs. fortrinsvist store asteroider, større end 1 km. Man forventer at der findes langt flere mindre NEAer, som måske ikke lige frem truer med at slette al liv på Jorden, men som kan forårsage skader af betydeligt omfang.

Det er endnu for tidligt at sige noget om hvorvidt der rent faktisk er grund til at bekymre sig om faren for sammenstød. Man kan måske mene at muligheden for et sammenstød synes meget ringe, sammenlignet med de andre farer man udsætter sig for, men rent faktisk er kendskabet til de jordnære asteroider endnu ufuldstændigt. For at forstå de dynamiske mekanismer bag de jordnære asteroider, er det nødvendigt at forstå de dynamiske mekanismer i hele Solsystemet, og de er som nævnt præget af kaotiske og resonante fænomener med høj kompleksitet. Det er derfor svært at give nogle præcise bud på hyppigheden af kollisioner med Jorden, samt de konsekvenser det måtte have for Jorden

og dens biologiske population. Set i det perspektiv er der rent faktisk grund til at tage problematikken med jordnære asteroider alvorligt, alene ud fra det motiv at få afdækket den reelle risiko.



Figur 2. De tre asteroider, der hidtil er studeret i forbindelse med flybys af sonder på vej til andre mål. Mathilde er en såkaldt C-type asteroide, der blev fotograferet af NEAR sonden på vej til Eros. Gaspra og Ida var de to første asteroider der blev fotograferet i 1991 og 1993 af Galileo sonden på vej til Jupiter. De er begge to S-type asteroider ligesom Eros. Ida var særlig interessant da det viste sig at den havde en satellit, Dactyl. Mathilde er i virkeligheden langt mørkere end Gaspra og Ida. De tre asteroider er vist i samme skala. Gaspra måler ca. 12 km på den lange led.

Ud over måske at udgøre en trussel for Jorden, så er NEAer spændende objekter at studere, dels fordi deres nærhed til Jorden afslører en meget spændende dynamik for småplaneter i Solsystemet, men ikke mindst fordi de eventuelt vil kunne samles op fra jordoverfladen som meteoritter. Da man har mulighed for intense laboratoriestudier af den geologiske sammensætning af meteoritter, hvorimod de tilsvarende detaljerede undersøgelser af NEAer endnu kræver kostbare rumsonder, har man ved studiet af meteoritter mulighed for at få information om den geologiske sammensætning af objekter i Solsystemet, samt udvikle viden om Solsy-

stemets dannelse. Der er derfor i sagens natur en klar interesse i et tæt samarbejde mellem forskere der studerer meteoritter, og forskere der studerer asteroider og dannelse af planetsystemer.

Boks 1. Meteoritter :

Meteoritter er små fragmenter af ca. 130 forskellige asteroider, Månen og Mars. De asteroider vi har fragmenter af, er vidt forskellige lige fra meget primitive legemer, der aldrig har været opvarmet, til legemer der har været nær total opsmeltning.

En meteorit der stammer fra et legeme der ikke har været opsmeltet nævneværdigt (dvs. højst opvarmet til 400 K under Solsystemets dannelse) kaldes for en primitiv meteorit; til denne gruppe hører kulkondritterne. De indeholder således primitivt materiale fra Solsystemets allertidligste faser - længe inden der var kometer, asteroider og planeter.

En meteorit kaldes for højt udviklet hvis den kommer fra en asteroide der har været udsat for meget høj opvarmning (< 1000 K). Ordvalget skyldes at den høje opvarmning har delvist opsmeltet asteroiden og opdelt den i kerne, kappe og skorpe.

En udviklet asteroide der bliver slået i stykker vil kunne levere mange typer af vidt forskellige meteoritter; (1) Jern-meteoritter der er stykker af en asteroides jern-nikkel kerne. (2) Sten-jern meteoritter der bl.a. stammer fra overgangen mellem jern-nikkel kernen og silikat kappen. (3) Sten-meteoritter der stammer fra kappen.

Taksonomisk klassifikation

Ved at bestemme spektre af det reflekterede sollys fra asteroider kan man bestemme mineralsammensætningen af deres overflader, og dermed hvilken type asteroider der er tale om. På denne måde har man inddelt asteroiderne i 12 taksonomiske klasser, se tabel 1 Eksempelvis er asteroiderne Ceres og Mathilde klassificerede som C-typer (se figur 2).

Opdelingen mellem de enkelte klasser er naturligvis ikke altid skarp, men snarere glidende, og de nævnte 12 grupper er derfor hovedgrupper for den taksonomiske klassifikation. Der findes derudover forskellige undergrupper, som er indført når ingen af de enkelte hovedgrupper synes at være fuldt dækkende.

Hvad hovedtyperne af asteroider dækker over, kan man forsøge at afklare ved at sammenligne med spektre af meteoritter opnået i laboratorier på Jorden.

Meteoritter

På nær enkelte meteoritter fra Månen og Mars kommer de fleste meteoritter fra asteroiderne. Ligesom as-

teroiderne spænder meteoritterne fra de meget primitive kulkondritter til højt udviklede differentierede typer såsom jernmeteoritter (stumper af en asteroides metal-kerne) og akondritter fra kappe og skorpe af differentierede asteroider. Ved at se på kemisk sammensætning, isotopsammensætning og mineralogi af de ca. 30.000 kendte meteoritter kan man inddele dem i ca. 130 grupper hvor hver gruppe antages at komme fra et moderlegeme. Antallet af meteoritter i hver gruppe varierer fra ca. 10.000 i den største gruppe og helt ned til én.

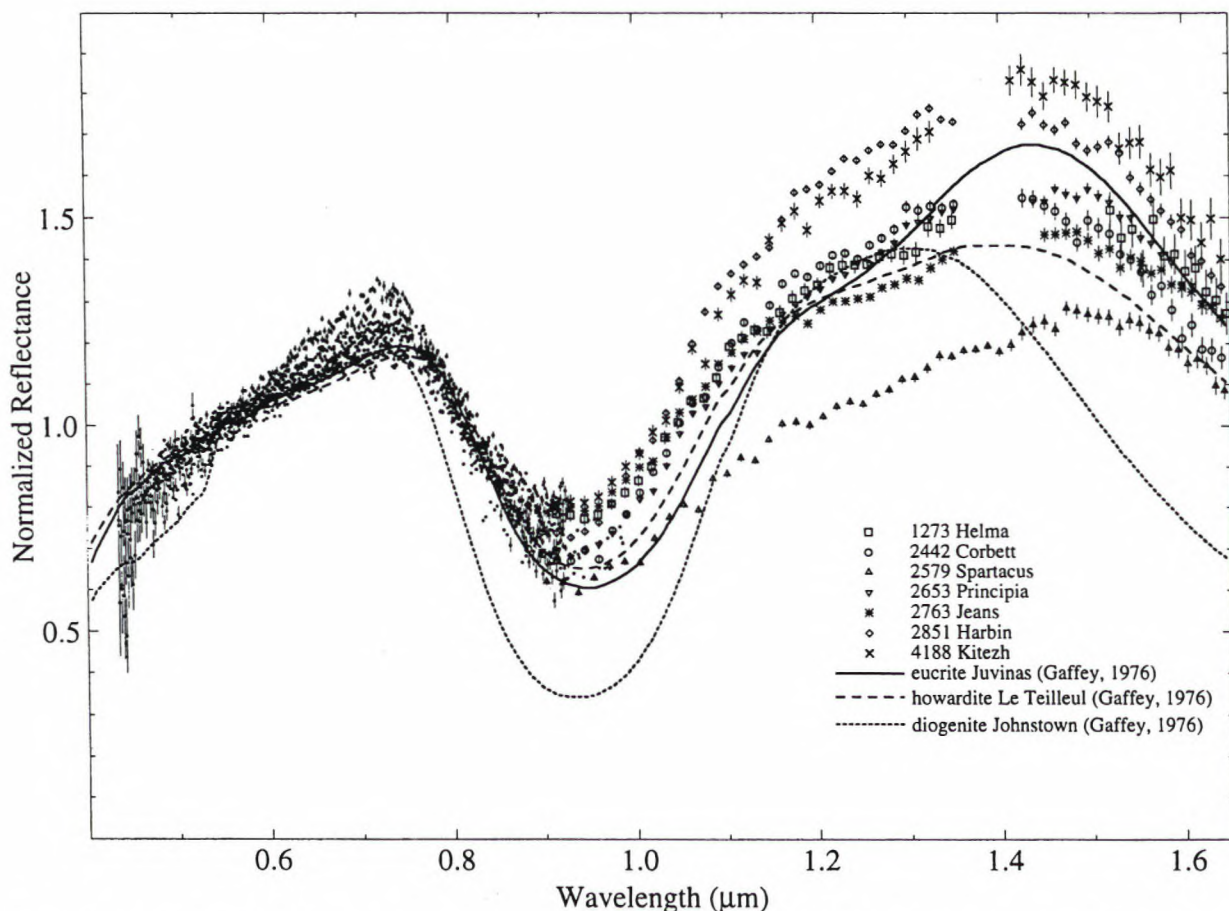
Boks 2. Differentieret planetlegeme :

De mindre planetlegemer i Solsystemet (indtil 10 km i diameter) har aldrig været særlig varme. Opvarmningen af Solsystemets mindste legemer skyldes formentlig henfald af kortlivede, radioaktive isotoper, især Al^{26} . Et lille legeme udsender imidlertid denne varmeenergi næsten lige så hurtigt, som den dannes. Legemer, som hurtigt byggedes op til mere end 20-30 km i diameter, kunne pga. et relativt lille varmetab ved udsendelse, imidlertid nå op på smeltetemperaturer for stenmateriale^a. Det skyldes at varmeproduktionen især bestemmes af rumfanget, nemlig af indholdet af radioaktive isotoper, mens varmetabet bestemmes af overfladearealet. Det betyder at de store legemer har været selvopværmende! Under smeltningen synker nikkel og jern mod planetens kerne, mens silikaterne lejr sig overpå som en kappe, hulrummene forsvinder og hele planeten skrumper betydeligt i rumfang. En anden og måske endnu vigtigere faktor er tiden. Al^{26} har en kort halveringstid og kan derfor have været udbrændt inden de sidste asteroider blev dannet i den ydre del af asteroidebæltet. Det kan være en forklaring på at de primitive asteroider tilsyneladende dominerer derude.

^aRumfanget vokser med radius i tredje potens, men overfladen vokser kun med radius i anden.

Ved at sammenligne spektre af meteoritter med spektre fra asteroider forsøges det at finde frem til de asteroider, der er moderlegemer for de enkelte grupper af meteoritter. Det har vist sig at være meget vanskeligt. Det eneste tilfælde hvor man mener at kunne kæde meteoritter og moderlegemer sammen er HED meteoritterne og Vesta, se figur 3. I nogen tilfælde kan det selvfølgelig skyldes at asteroiden er blevet totalt knust ved en kollision. Når vi f.eks. har stumper af en asteroides jernkerne på jorden så er der nok ikke meget tilbage af selve asteroiden. En anden væsentlig grund menes at være at asteroidernes overflader bombarderes med partikelstråling, hvilket kan ændre deres spektrale signatur.

En meget væsentlig opgave for en asteroide-mission



Figur 3. Spektre af asteroider fra Vesta-familien (symbolerne), sammenlignet med 3 forskellige meteorit-spektre (kurverne). Længs x-aksen ses bølgelængden, i dette tilfælde går spektrene fra det synlige til de nær-infrarøde område. Længs y-aksen vises den normerede flux (i asteroide-sprog kaldet reflektans). Fra Burbine et al. (2001), Vesta, Vestoids, and the howardite, eucrite, diogenite group: Relationships and the origin of spectral differences. *Meteoritics and Planetary Science* 36, 761- 782.

er derfor at opnå en bedre forståelse af sammenhængen mellem meteoritter og asteroider. Meteoritterne giver os mulighed for detaljerede petrologiske studier, uden kendskab til den regionale geologi. Omvendt giver asteroiderne os mulighed for at studere den regionale geologi uden at give os adgang til detaljerede studier.

Bering, den første Europæiske Deep Space mission

En af de største udfordringer indenfor udviklingen af videnskabelige rumfartøjer er, at sikre et stadigt større udbytte i form af nye, mere avancerede og nøjagtige målinger samtidig med at udgifterne ikke må løbe løbsk.

Dette mål kan kun opnås ved til stadighed at udvikle nye måleprincipper for instrumenter, samt at gøre rumfartøjerne mere og mere selvstændige, således at driftomkostningerne minimeres. Ørsted satellitten koster f.eks. kun omkring 1% af udviklings- og opsendelses-omkostningerne per år, medens NASAs Voyager missioner har kostet mere end 11% per år.

Berings fuldautomatiske instrumenter muliggør faktisk en næsten fuldautomatisk mission hvad angår daglig pasning. Dette er ekstra vigtigt når det drejer

som om en Deep Space mission, der med sin lange flyvetur fra jorden til målet, Asteroidebæltet, ellers kunne blive meget bekostelig at operere.

På grund af de fuldautomatiske instrumenter vil Bering, som den første sonde nogensinde, være i stand til at detektere, karakterisere og fotografere små ukendte asteroider i Solsystemet. Tidligere missioner har været sendt ud til allerede kendte asteroider og har desuden være slukket i cruisefasen. Man har derfor kun ringe kendskab til tætheden og arten af de små legemer i asteroidebæltet. Resultaterne fra Bering missionen vil kunne give os en bedre forståelse for asteroidebæltets struktur og udvikling.

Stjernekameraerne

Bering er forsynet med seks stjernekameraer der, mens rumfartøjet langsomt spinner om sin symmetriakse (1°/sek), afsøger stjernehimmelen for asteroider: Stjernekameraernes computere beregner konstant fartøjets orientering i rummet, baseret på de billeder af stjernehimmelen som kameraerne tager. Stjernekameraerne sammenligner de optagne billeder med deres medbragte kataloger, der rummer de 20.000 stærkeste

stjerner. Ved sammenligningen vil samtlige lysende objekter i billederne, som ikke er stjerner, blive opdaget. Mange af disse objekter er galakser, nebulæ, etc., men nogle vil være asteroider. I modsætning til galakser etc. vil asteroiderne flytte sig i forhold til baggrunden. Og da stjernekameraerne holder log med samtlige lysende, ikke-stellare objekter, vil asteroider, der nærmer sig, hurtigt blive detekteret og fulgt. Stjernekameraerne, der er en videreudvikling af Ørsted satellittens kamera, er helt afgørende for missionen. Hvis de ikke helt automatisk kunne detektere en asteroide, som nærmer sig, ville stjernebilledet først skulle sendes til jorden, der typisk befinder sig 400 mio. km væk, hvilket svarer til 20 lys-minutter, hver vej. Så selvom jordstationen, ideelt set, kunne svare tilbage øjeblikkeligt, ville man være langt forbi asteroiden, førend beskeden om at filme den var nået tilbage. Dette forhold er en af hovedårsagerne til at vi ved så lidt om asteroiderne, som tilfældet er.

Boks 3. Center for PlanETForskning :



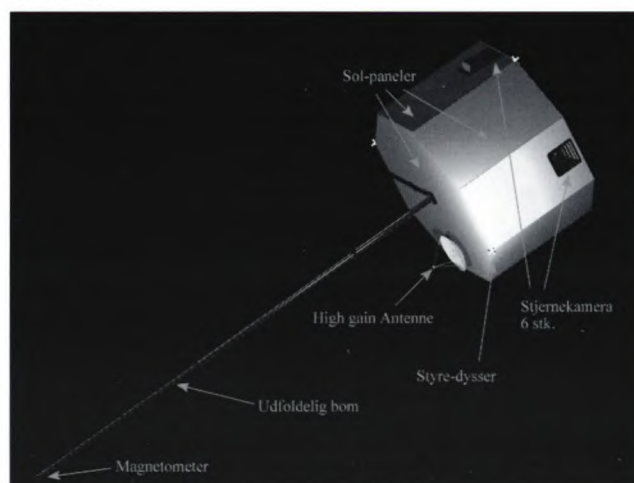
I Februar i år flyttede en gruppe forskere fra Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik (NBIfAFG) sammen med en gruppe forskere fra Dansk Rumforsknings Institut (DSRI) ind i Center for PlanETForskning. Planetcenteret er rent fysisk placeret i en bygning der ligger lige ved siden af Rockefeller-komplekset i København hvor astronomerne, geofysikerne og DSRI har til huse. Ideen med centeret er at styrke forskningen i emner relateret til Solsystemet, samt give bedre muligheder for studerende ved NBIfAFG at specialisere sig inden for dette felt. Gruppen bag centeret er meget tværfaglig med kompetance i disciplinerne: Astronomi, geofysik, fysik, rum-baserede instrumenter, geologi og biologi. Den her beskrevne Bering mission er et eksempel på et konkret resultat, opstået af at folk med forskellig faglig baggrund, men med en brændende interesse for samme emne, mødes. Læs mere om planetcenteret på <http://www.planetcenter.dk>.

Teleskopet

Hjertet i Berings instrumentpark er en miniature multispektral imager, dvs. et teleskop med et tilhørende mange-farvebånds-kamera som skal levere højopløsnings farvebilleder af asteroiderne. Som det

ses på principskiten af instrumentet på Kvants forside, planlægges der for tiden seks farvebånd fra 2200 nm (infrarød) til 350 nm (nære UV). Imageren skal tage nærbilleder af de asteroider som Bering flyver forbi. Det store foldningsspejl foran teleskopets åbning skal sikre at bevægeuskarphed ikke ødelægger billederne, når en asteroide forbiflyves med op til 5 km/sek. Spejlet, der er forholdsvis let, kan langt lettere drejes for at følge asteroiden, end hele satellitten.

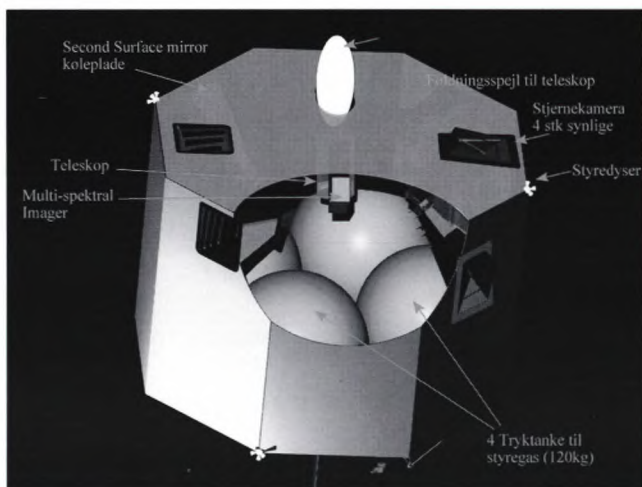
Den lille, men kraftige laser, som ses midt i teleskopet, anvendes sammen med en infrarød detektor til at måle afstanden til asteroiden. Laseren sender en kortvarig kraftig lys-puls ud, samtidig med at en tæller startes, laserpulsens reflekteres fra asteroidens overflade og tælleren stoppes når detektoren måler at pulsen returnerer.



Figur 4. På billedet ses "Bering's" karakteristiske facon, som er dikteret af tre faktorer: 1) Rumfartøjet skal rotere langsomt for at kunne scanne hele himmelhvælvet; Rotations symmetri. 2) Sollyset er 6 gange svagere ude i asteroide bæltet end her ved jorden, så der skal solpaneler på alle flader der vender indad i solsystemet. 3) Rumfartøjets elektriske kredsløb vil forstyrre magnetfeltet tæt ved. Magnetometeret kræver derfor en lang bom.

Magnetometer-bommen

På computertegningen af rumskibet ses den 6 m lange magnetometerbom udfoldet. Formålet med magnetometeret på den lange bom er at lave en magnetisk profil af de asteroider som man kommer rigtigt tæt på. Magnetometeret er placeret på den lange bom for at komme væk fra forstyrrelserne fra selve satellitten. I Deep Space er magnetfeltet meget svagt, typisk 1-10 nT, men asteroider specielt med jernkerner vil kunne detekteres i anseelig afstand. Asteroidernes magnetiske signatur er en af de vigtigste klassifikationsparametre ved siden af spektralmålingerne. NASAs "NEAR" mission medbragte således et meget følsomt magnetometer, der desværre ikke gav brugbare resultater, på grund af forstyrrelser fra satellitten.



Figur 5. Forskerne ønsker at kunne flyve tæt forbi forlods udvalgte asteroider, samt at kunne nærme sig interessante "nye fund" for at få bedre billeder. Sådanne manøvrer fordrer et kraftigt styregas system, der, som det ses på billedet, optager langt størstedelen af rumfartøjets inde.

Rumskibet

De otte sidepaneler og bunden er dækket af solpanelerne der leverer elektrisk energi til batterier og elektronik ombord. Toppen er derimod dækket af en speciel belægning, et såkaldt Second Surface Mirror (SSM), der virker som køleplade for de infrarøde kameraer i den multispektrale imager. Da de bølgelængder, som imageren skal måle, ligger tæt på og i varmestrålingsbåndet, er det nødvendigt at køle detektorerne i kameraerne ned til 80-100K, for at sikre et rimeligt signal/støj forhold. En SSM overflade bliver typisk lavet ved at et panel på satellitten påføres en film af Kapton-tape. Kapton tapen er overfladebehandlet med et 5 μm aluminiumsspejl, som igen er dækket af et 20 μm kvartslag. Solens lys går gennem kvartslaget og reflekteres fra aluminiumsspejlet, præcis som et almindeligt spejl. Herved sikres at uanset om solen skinner på overfladen eller ej, så optages der ikke meget varme. Kvartslaget er derimod ikke gennemskinneligt for varmestråling. Men da kvarts er en rimelig varmeleder, ledes varmen fra panelet, gennem det tynde kapton, aluminiums- og kvarts-lag til overfladen, hvorfra den udstråles til rummet. Herved opnås en af de "koldeste" belægninger der kendes.

Strømforsyning og kontakt med Jorden

Bering er en forholdsvis stor satellit, ca. 1.2 m på hver led med bommen foldet i opsendelseskonfiguration. Denne størrelse er ikke så meget dikteret af instrumenter og udstyr, som af kravet om tilstrækkeligt elektrisk energi. Ved Jorden kan Berings solpaneler levere mere end 300 W elektrisk energi; men når den når

frem til Asteroidebæltet, er sollyset 5-6 gange svagere, så her er der kun 45W til rådighed, netop her hvor distancen til Jorden er størst, og der derfor behøves mest energi til radioforbindelsen.

Ud over at virke som attitude-instrument og asteroidedetektorer, leverer stjernekameraerne også en anden vigtig måling. Ved at detektere og følge kendte himmellegemer, kan stjernekameraerne beregne en rimeligt nøjagtig position af rumfartøjet. Denne position, og Jordens øjeblikkelige position som let beregnes, bruges nu til at finde retningen fra Bering til Jorden, således at den lille men meget retningsfølsomme antenne kan peges direkte mod Jorden. Også denne funktion er helt automatisk.

Denne sidste funktion er faktisk det, som sikrer de største besparelser for missionen, samtidig med at den også betyder en meget stor sikkerhed for succes: Normalt skulle et rumfartøj som Bering have en meget stor antenne med en meget kraftig sender og en følsom modtager, for at kunne finde Jorden igen, hvis den var kommet lidt ud af orientering. Det ville også være nødvendigt at sende et "homing" signal fra Jorden, næsten konstant, for at antennen ikke skulle dreje for langt væk. Endelig, hvis rumfartøjet bliver ramt af noget rumgrus, som det må forventes at ske i Asteroidebæltet, så kan en sådan hændelse blive fatal, hvis ikke radioforbindelsen kan genetableres. Med Berings navigationsmodul, og med noget intelligent software til at styre instrumenterne ombord, vil Bering kunne klare sig selv en stor del af tiden, da der hverken kræves konstant overvågning, antenne-følgning fra Jorden eller kraftige sendere på Jorden. Bering skal blot kommanderes til at starte transmissionen af data på et for jordstationen gunstigt tidspunkt. Dette skiller sig markant ud fra hidtidige deep space missioner, og hverken NASA eller ESA mestrer (endnu) denne teknologi!



Artiklens forfattere (fra venstre:) John Leif Jørgensen, Anja Andersen, René Michelsen og Henning Haack.

Dansk Astronomi 2010

Johannes Andersen, NBIfAFG, Københavns Universitet, og Poul Erik Nissen, IFA, Aarhus Universitet

Dansk astronomi er i dag en helt integreret del af dansk fysik. Det fremgår allerede af navnene på de to universitetsinstitutter, hvor den altovervejende del af dansk astronomisk forskning foregår: Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik (NBIfAFG) ved Københavns Universitet og Institut for Fysik og Astronomi (IFA) ved Århus Universitet. Men der er også et voksende samarbejde mellem astronomi og både teoretisk fysik (kosmologi) og geofysik (planetforskning). Og mange ny studerende fristes til at læse fysik af kombinationen fysik og astronomi, som det iøvrigt ses verden over. Denne udvikling må hilses med tilfredshed.

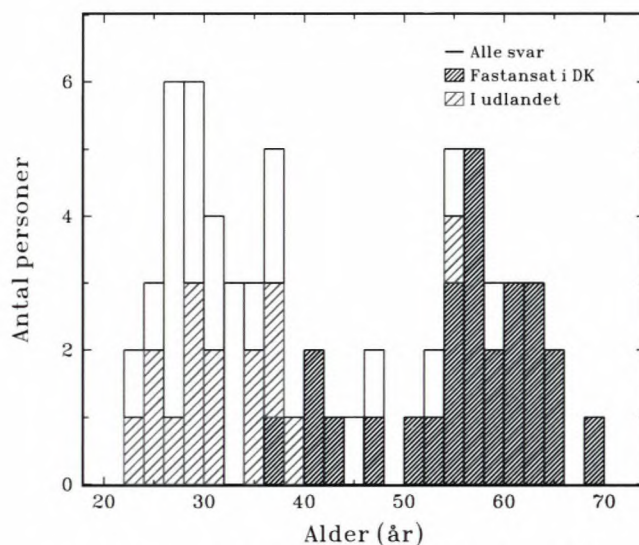
Som megen anden fysik er astronomi præget af hastige skift i forskningsfronterne og stigende afhængighed af meget store forskningsfaciliteter. Sådanne kan nutildags kun realiseres ved internationalt samarbejde, hidtil mest europæisk (f.eks. CERN, ESRF, ESA, og ESO)¹, men fremtidig i stigende grad globalt. Store projekter (acceleratorer, satellitter, teleskoper) tager typisk 10 år eller mere fra projektering til virkeliggørelse i sådant regi. Hvis Danmark ønsker fortsat at gøre sig gældende på den astronomiske forskningsfront, må vor deltagelse i sådanne projekter derfor planlægges på tilsvarende langt sigt. Mulighederne er store – idérigdommen ikke mindre.

Men forskningsplaner er kun meningsfulde, hvis de nødvendige ressourcer kan skaffes. Den vigtigste ressource er *forskere*: Uden aktive forskere ingen astronomi, selv med nok så mange og store teleskoper. Og 2010 er ikke blot et år, hvor nye spændende forskningsmuligheder åbner sig; det markerer også et skel, hvor næsten hele den faste videnskabelige stab pensioneres (jvf. figur 1). Skal dansk astronomi bevare sin vitalitet, må der i det kommende årti rekrutteres en ny generation af dygtige forskere med den rette erfaring indenfor de rigtige felter. Men udviklingen går ikke den rette vej af sig selv. Noget må gøres.

Planlægning i dansk astronomi

Vi har før været i en kritisk situation. I 1987 afslog den daværende regering at lade Danmark deltage i ESOs *Very Large Telescope (VLT)* projekt. På længere sigt ville dette have ført til tab af det danske medlemskab af ESO, en potentiel katastrofe. Astronomisk Udvalg under SNF, som det påhvilede at rådgive SNF og andre berørte myndigheder om dansk deltagelse i international jordbaseret astronomi, tog initiativ til at udarbejde rapporten "*Dansk Astronomi frem til år 2000*" (1988) som beskrev dansk astronomis daværende inter-

ationale stade og gav en række anbefalinger for fremtiden, både med og uden dansk deltagelse i VLT.



Figur 1. Aldersprofilen for dansk astronomi (januar 2000). Figuren er komplet for fastansatte i Danmark; andre kategorier er optalt fra spørgeskemaerne.

Efter en række forhandlinger i SNF og andre organer – og ikke mindst en storstående bevilling på 10 mio kr fra Carlsbergfondet – ændrede regeringen holdning til sagen. Danmark er fortsat fuldgældigt medlem af ESO, og danske astronomer er ivrige brugere af det færdige VLT (jvf. KVANT 2001/2 samt dette nummer). Men derudover er en forbløffende stor del af rapportens langsigtede anbefalinger (styrkelse af ekstragalaktisk astronomi og teoretisk astrofysik, sammenflytning af astronomi med fysik og rumforskning, nedlæggelse af mindre vigtige faciliteter) faktisk gennemført i den forløbne tid, med en samlet offentlig og privat investering på mindst 250 mio kr. I 1987 tvivlede man ikke på tilstedeværelsen af en fornuftig minimumsbemanding i planperioden. I dag er generationsskiftet blevet et akut problem, men en fornuftig gennemførelse af det er stadig ikke i syne.

Intet enkelt organ har i dag ansvar for en samlet planlægning af al dansk astronomi. Men styregruppen for SNFs *Instrumentcenter for Jordbaseret Astronomisk Forskning (IJAF)* har, udover sin direkte tilsynspligt vedr. IJAF, overtaget det tidligere Astronomisk Ud-

¹CERN, ESRF, ESA og ESO er de fælleseuropæiske forskningsorganisationer indenfor kernefysik, synkrotronstråling, rumforskning og jordbaseret astronomi (spec. på sydhimlen).

valgs rådgivende opgaver (se ovenfor), og styregruppen besluttede at tage udfordringen op, tilskyndet hertil af det årlige astronomi-møde i maj 2000. Resultatet blev rapporten "*Dansk Astronomi 2010*" [1]. Vi skal her kort skitsere processen, hvorunder den blev til, samt de væsentligste konklusioner og anbefalinger.

Rapportens tilblivelse

Dansk Astronomi 2010 er udgivet af IJAFs styregruppe, og dens konklusioner og anbefalinger er udformet på gruppens egne vegne og ansvar. Men i et sådant langsigtet udredningsarbejde er det af vital betydning at inddrage så mange synspunkter og idéer som muligt i forberedelserne, ligesom det er vigtigt at få påpeget og rettet eventuelle fejl og mangler inden rapportens endelige udgave. Gruppen gjorde sig derfor store anstrengelser for at inddrage alle interesserede i arbejdet.

Som første trin i forberedelserne udsendtes pr. e-mail et spørgeskema til alle i dansk astronomi i bredeste forstand, herunder både udenlandske astronomer i Danmark og danske forskere i udlandet og i tilgrænsende fag. Svarprocenten var glædeligt høj, ca. 80% af alle fra PhD-studerende og opefter eller ialt 56 svar, hvilket giver rapporten en solid basis. Svarene var dels enkle og kvantitative mht. den påtænkte fremtidige udnyttelse af forskellige forskningsfaciliteter, men omfattede også fyldige kommentarer i frit format.

Ud fra svarene blev der udarbejdet et rapportudkast, som gennemgik flere iterationer i styregruppen, inden det blev annonceret og opslået på IJAFs web-side 16. maj 2001. To uger efter blev udkastet grundigt diskuteret i astrofysik-sessionen under DFS's årsmøde i Nyborg. De ca. 60(!) deltagere var overvejende positive til hovedlinierne heri, men fremkom med mange nyttige kommentarer, indvendinger og forslag til forbedringer. Rapporten blev kraftigt revideret på grundlag heraf og igen opslået på IJAFs web-side 16. juli med kommentarfrist 15. august 2001. Efter denne sidste runde gennemgik teksten en yderligere revision inden den endelige udgave, som er dateret 17. august 2001. Der er ikke modtaget kommentarer herefter.

Det er IJAFs håb, at det beskrevne initiativ og rapporten vil blive et nyttigt værktøj i de videre anstrengelser for at sikre dansk astronomi den fremtid, som de tidligere resultater og astronomiens betydning i dansk naturvidenskab som helhed berettiger til. Måske kunne de endog inspirere andre dele af dansk fysik?

Visioner og generelle overvejelser

Enhver langtidsplanlægning må udgå fra en vision om frontforskningens karakter og den danske rolle heri. At spå i nogen detalje om astronomiens "varme emner" i 2010 er naturligvis vanskeligt, men visse træk tegner sig alligevel rimelig tydeligt trods den store faglige spredning blandt svarene: Kosmologi, galakser, dannelse og udvikling, og stjerners og planeters oprindelse og udvikling (inkl. vort eget Solsystem) må forventes

at stå i centrum. Udforskningen af disse emner vil på den ene side trække på et stadig bredere og mere integreret udbud af forskningsfaciliteter dækkende hele det elektromagnetiske spektrum fra gammastråler til radiobølger. På den anden side forventes en forstærket vekselvirkning med både teoretisk og eksperimentel (atom- og molekyl-) fysik, men også med p.t. fjernere discipliner som geofysik, geologi og biologi.

Spørgeskemaerne bad også om en vurdering af dansk astronomis nuværende styrkepunkter og svagheder. Svarene varierede naturligvis stærkt efter de pågældendes forskningsinteresser og ansættelsesforhold, men visse træk slår igennem meget tydeligt.

Af styrkepunkter nævnes først en række forskningsfelter, hvor dansk astronomi er fremme i forreste række, og hvor der er en passende "kritisk masse" af faste forskere og tilgang af dygtige studerende. Et nøglepunkt er de gode muligheder for at udnytte slagkraftige observationsfaciliteter, især gennem ESO (VLT, det kommende radioteleskop ALMA mm.) og ESA (*Hubble Space Telescope*, *XMM* og flere fremtidige rumobservatorier), men også ved det *Nordiske Optiske Teleskop (NOT)* på La Palma og det danske 1.5m teleskop i Chile. Endvidere fremhæves det gode samarbejde mellem teori og observation samt uddannelsen, som står sig fint på internationalt plan.

Blandt svagheder nævnes visse aktuelle forskningsfelter uden væsentlig dansk deltagelse (f.eks. interstellær kemi og ekstrapolare planeter). Mange så også gerne en større indsats indenfor instrumentudvikling. Men kritikken fokuseres i overvældende grad på de manglende rekrutterings- og karriereveje indenfor faget og de dårlige muligheder for både fast og løst ansatte for at planlægge en vægtig forskningsindsats på blot nogenlunde langt sigt. Den helt overvejende del af forskningen foregår ved de to universitetsinstitutter, og den universitære budgetmodel tager simpelthen ikke højde for, at det forskningsmæssige udbytte af det danske medlemskab af ESO mv. skal varetages af universiteterne (dette gælder også f.eks. CERN). Endelig ses det som en væsentlig svaghed, at der ikke er en samlet planlægning og koordination indenfor al dansk (rum- og jordbaseret) astronomi, både for eventuelle engagementer i større fremtidige forskningsprojekter, men også vedrørende undervisning og formidling.

Generelle overvejelser og konkrete anbefalinger

Astronomi i 2010 må forudses at blive endnu mere spændende end nu. Nogle af de store aktuelle spørgsmål vil måske være besvaret, men andre vil med sikkerhed dukke op. Det er styregruppens opfattelse, at Danmark skal være med i forskningens forreste line også til den tid, og at forudsætningerne herfor principielt er gode. Men der må handling til, både på langt og kort sigt, hvis dette skal lykkes.

Gruppens anbefalinger hertil sammenfattes kort i det følgende, grupperet efter emne. Forbedring af

rekrutteringen samt institut- og stillingsstrukturen er de vigtigste langsigtede tiltag, men kræver investeringer og politiske kursændringer. Disse spørgsmål må løses som led i den revitalisering af dansk naturvidenskab, som efter alle kyndiges mening bliver stedse mere presserende – for ikke at bruge stærkere ord. En hel generation er tabt (se figur 1), og det er stærkt bekymrende, at ca. halvdelen af næste generation allerede er rejst udenlands, åbenbart uden illusioner om at kunne vende hjem. I mellemtiden er der imidlertid en række konkrete tiltag til forbedring af udnyttelsen af både eksisterende og fremtidige ressourcer, som vil kunne iværksættes straks.

Bemanding og finansiering

- Rekruttering af næste generation forskere må iværksættes omgående og effektivt. Intet tiltag er vigtigere for forskningens fremtid eller mere hastende end dette, og det er glædeligt, at Carlsbergfondet og SNF allerede bidrager hertil. Det må følges op med en hensigtsmæssig modernisering af stillingsstrukturen.

- Danmark må fortsat deltage fuldt ud i de europæiske forskningsorganisationer. Fuld adgang til ESOs og ESAs faciliteter er vital for dansk astronomi, også i fremtiden.

Struktur og planlægning

- Der må indføres en overordnet planlægning og koordinering af al dansk astronomi. Der behøves et nyt organ med mandat til at opstille en samlet, langsigtet planlægning og prioritering af alle større astronomiske projekter, såvel jord- som rumbaserede. Dets sammensætning og reference må klarlægges snarest.

- En bedre organisatorisk basis for forskningsindsatsen er nødvendig. Der må skabes et nyt og bedre institutmæssigt grundlag for forskningsindsatsen, såfremt universiteterne fortsat skal kunne sikre et forsvarligt videnskabeligt udbytte af Danmarks medlemskab i ESO og ESA. Dette er specielt kritisk for en evt. fortsat dansk deltagelse i højteknologiske instrumentprojekter både på jorden og i rummet.

Intern organisation

- Uddannelserne i astronomi bør koordineres bedre på nationalt plan. En bedre koordination af indsatsen vil kunne forbedre kvaliteten af metoder og materialer i undervisningen uden unødigt dobbeltarbejde.

- Intern og ekstern kommunikation i dansk astronomi bør forbedres. Bedre intern kommunikation vil kunne føre til et mere frugtbart samarbejde om både forskning, undervisning og formidling til offentligheden. På det sidste område bør der endvidere ske en professionalisering af indsatsen, så astronomiens betydning for dansk forskning og forskeruddannelse gøres klarere for både befolkning og beslutningstagere.

Hvad sker der så nu?

Flere af de højst prioriterede tiltag vil kræve en reel investering i dansk forsknings fremtid. Det må håbes, at besindige politiske kræfter efterhånden vil vinde gehør for det synspunkt, at dette også er en nødvendig investering i landets fremtid. Men tålmodighed kræves åbenbart. I mellemtiden må vi gå videre med de initiativer, som kan tages af os selv indenfor de nuværende rammer. Opstilling af en samlet strategi for fremtidige større engagementer og den bedst mulige udnyttelse af de samlede ressourcer i dansk astronomi er en første forudsætning for held i konkurrencen om nye midler, hvis og når de skulle vise sig.

Den videnskabelige stab, hvorpå en forskningsplanlægning i perioden kan bygges, er alle ansat ved NBI-fAFG, IFA og DRI. Forslaget om nedsættelse af et nyt, fælles udvalg til planlægning og koordinering af indsatsen er derfor i første omgang sendt til disse tre institutters ledere. De to første har udtrykt velvilje, men fra DRI foreligger i skrivende stund ingen endelig stillingtagen. Sektorforskningsinstitutternes generelle stilling er jo p.t. så usikker som nogensinde, og en vis uvilje mod afgivelse af en traditionel autonomi er måske ikke unaturlig. Men på universiteterne vedbliver græsset at gro – desværre med de velkendte følger for horsemor – så sagen kan ikke forsinkes ubegrænset.

Referencer:

[1] www.astro.ku.dk/ijaf/da2010 (17. august 2001)



Johannes Andersen er lektor i astronomi ved NBI-fAFG, Københavns Universitet, og leder af instrumentcentret IJAF.



Poul Erik Nissen er lektor i astronomi ved IFA, Århus Universitet, og formand for IJAFs styregruppe.

Mindeord for Ove Nathan

Jens Lyng Petersen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

Ove Nathan døde den 7. februar 2002, kort efter sin 76 års fødselsdag. Han nåede langt omkring i sit liv. Han var en højt anerkendt eksperimentel atomkernefysiker, engageret samfundsdebattør, rektor ved Københavns Universitet, medrivende pædagog og formidler, politisk idealist og realist, naturvidenskabsmand og humanist, forfatter og meget mere. Hans kolleger vil desuden og måske især huske ham for en knivskarp intelligens ikklædt en særegen mildhed, og for usædvanlig personlig og intellektuel integritet.

Ove Nathan blev født i 1926. Under krigen måtte han som jøde i 1943 flygte til Sverige, hvor han blev student i 1944. Efter krigen blev han cand. polyt. i 1952, ansat ved Niels Bohr Institutet (Universitetets Institut for Teoretisk Fysik, som det da hed) i 1953, gift med forfatteren Marianne Nathan Wandall 1956, dr. Phil. 1964, professor i fysik 1970, bestyrer for Niels Bohr Institutet 1971–75 og 1980–82 og rektor for Københavns Universitet 1982–93. Han var medlem af en lang række råd og bestyrelser og medlem af mange akademiske forsamlinger, således af atomenergikommissionens forretningsudvalg 1971–76, Energiministeriets energiråd 1976–82, Groupe de Bellerive fra 1980, bestyrelsen for dagbladet Politiken fra 1991, det videnskabelige råd for Den Store Danske Encyklopædi fra 1991, formand for bestyrelsen for UNI-C 1992–96 og formand for den danske UNESCO-Nationalkommission fra 1996. Han modtog Gads legat i 1969, Rosenkær-prisen i 1974, Jørgen Vedel Petersens mindelegat i 1987 og H. C. Ørsted-medaljen i 1999.

Som eksperimentel atomkernefysiker udførte Ove Nathan eksperimenter bl.a. ved Niels Bohr Institutets cyklotron, i Pennsylvania og ved Aldermaston tandem-acceleratoren i England. Hans hovedvirke faldt i 1950'erne, 60'erne og 70'erne. Gennemgående temaer i hans forskning var afklaringen af forholdet mellem de forskellige modeller for kernestruktur. (1) I skalmodellen antager man, at de enkelte kernepartikler, protoner og neutroner, med god tilnærmelse udfører uafhængige banebevægelser i middelfeltet fra de øvrige kernepartikler. Det giver anledning til en veletableret skalstruktur, analogt til atomernes skalstruktur for elektroner. (2) I den især af Åge Bohr og Ben Mottelson udarbejdede kollektive model, lægges derimod vægt på samspillet mellem kernepartiklerne og de fænomener, der derved kan opstå, herunder i forbindelse med kernedeformationer. Et særligt fænomen udgøres af den såkaldte pairing-effekt, hvor to ens kernepartikler bindes i et par, der minder om Cooper-parrene i en superleder, og hvorved kernestoffet får forskellige muligheder for at minde om en superflydende væske.

Eksperimenter udføres ved accelerators, hvor

stråler af forskellige partikler, alfa-partikler, triton-partikler og andre sendes ind mod atomkerner. Herved eksciteres kernen og der udsendes sekundære partikler, hvis energi og natur vil afsløre, hvordan kernen har reageret på forstyrrelsen.

Ove Nathan skrev i denne periode en række indflydelsesrige artikler. Med den meget fremtrædende teoretiske fysiker Sven Gösta Nilsson, Lund skrev han en klassisk oversigtsartikel "Collective Nuclear Motion and the Unified Model", 1964. Ove Nathan var eksperimentalfysiker, men hans teoretiske og matematiske indsigt rakte ud over det sædvanlige. I samarbejde med blandt mange andre den danske kollega Ole Hansen (senere direktør for Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik, 1993–1999) bidrog han afgørende til en eksperimentel forståelse af pairing-fænomenet.

Fra ung havde Ove Nathan næret idealistiske politiske forestillinger, således vedrørende den kommunistiske verdensbevægelse. Han blev i så henseende grundigt skuffet under et besøg i Ungarn i 1948, og afsvor efterfølgende enhver forbindelse med kommunisme og diktatur. Men idealismen var bevaret om end altid holdt i tæt snor af en kritisk humanisme. Han hyldede fornuftens selvjustits og beskrev sig selv som "dybt irreligiøs". Hans idealisme ytrede sig især i et dybt, samfundsmæssigt engagement. Ove Nathan var meget optaget af verdens energiproblemer og også i de muligheder den fredelige udnyttelse af kerneenergi kunne give, men forholdt sig i stigende grad nuanceret kritisk. Han blev netop derfor en yderst indflydelsesrig deltager i den danske debat i 1970'erne.

Det var en personlig skuffelse for Ove Nathan, at det ikke lykkedes at gennemføre et ambitiøst projekt med en ny stor accelerator ved Niels Bohr Institutets Tandem Accelerator Laboratorium nær Risø omkring 1980. Måske til dels derfor, men også på grund af den store opbakning, han fik, stillede han op som rektor og fungerede som sådan ved Københavns Universitet i 11 år. Det lykkedes ham trods det politiske spils uundgåelige kompromiser at komme igennem perioden med usvækket respekt og med de fleste idealer i behold.

Ove Nathan deltog i denne periode yderst aktivt i en fortsættelse af Niels Bohrs arbejde med at skabe forståelse for en åben verden med sit akademisk udgangspunkt. Således tog han initiativ til et internationalt arrangement herom i København i forbindelse med Niels Bohrs 100 årsdag i 1985. Han deltog i debatten om atomvåben og menneskerettigheder. Han var utrætteligt i arbejdet med at få den sovjetiske systemkritiker og Nobelprismodtager Andrej Sakharov løsladt fra sit eksil i Gorki i 1987. Hans mange kontakter fra

fysikken kom ham herved til gode.

Ove Nathan var en fremragende pædagog og formidler. I de senere år bidrog han flittigt til kendskabet til fysik og anden moderne videnskab på mange måder, således gennem nøglebidrag til Den Store Danske Encyklopædi og gennem avisartikler og bøger. Fra de senere år foreligger med Henrik Smith "Den Harmoniske Begejstring". Dertil selvbiografien "Egne Veje", 1998, "Hvordan lever vi til år 2025", 2000, "Stakkels Einstein og andre fortællinger om fysik", 2000, og for nylig "Verden er kaotisk", alle udarbejdet under fremadskridende sygdom.



Jens Lyng Petersen er lektor og afdelingsbestyrer ved Niels Bohr Institutet.

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Dansk Fysisk Selskab

Hjemmeside: www.nbi.dk/dfs

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 2002

Dansk Fysisk Selskab afholder sit årsmøde 2002 på hotel Nyborg Strand i dagene 30. maj–31. maj 2002. 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 30. maj kl. 11 og slutter fredag den 31. maj kl. 17.

DFS afholder sin årlige generalforsamling under årsmødet fredag den 31. maj 2002. I tilslutning til årsmødet afholder netværk for Kvinder i Fysik (KIF) sit årlige møde lørdag den 1. juni.

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. DFS lægger herunder særlig vægt på at give yngre forskere mulighed for at præsentere deres resultater for

en bredere kreds. Endelig vil en række firmaer demonstrere nyt forskningsapparat på en udstilling.

Som et særligt indslag i 2002 planlægges det at afholde et debatmøde om fremtidsperspektiverne for dansk fysik på langt sigt, under titlen: "Dansk fysik i 2015: Hvor ligger udfordringerne, og hvordan møder vi dem?". Efter indledende indlæg af såvel yngre som seniore forskere og beslutningstagere vil der blive afsat rigelig tid til debat om dette vitale emne.

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.

Tilmeldingsfrist

Fristen for tilmelding til årsmødet er **fredag den 5. april 2002**.

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 (www.nbi.dk/dfs) i begyndelsen af februar. 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 m.v.

Indkvartering foregår på hotel Nyborg Strand. Pris for mødedeltagelse, incl. eventuel overnatning og diverse måltider, fremgår af tilmeldingsblanketten på side 27. Tilmelding sker ved at sende blanketten til hotel Nyborg Strand eller via internettet på DFS's hjemmeside. Deltagergebyret skal indbetales til hotellet sen-

est 14 dage inden årsmødet: Dankort/kreditkort via DFS's hjemmeside eller bankoverførsel til kontonr.: 3216 775538 (Den Danske Bank) eller kontonr. 8340 153688 (Amtssparekassen). **HUSK** i alle tilfælde at påføre navn/ordrenummer/DFS2002 - ordrenummer vil fremgå af hotellets bekræftelse, der tilsendes i starten af maj.

Fripladser for studerende

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 februar. Fristen for indsendelse af abstracts er **fredag den 5. april 2002**.

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 indsendte 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 1. juni 2002

Netværk for Kvinder i Fysik (KIF) afholder sit årsmøde lørdag 1. juni 2002, ligeledes på Nyborg Strand. Bemærk, at mødet i år er flyttet fra onsdag før DFS's årsmøde til lørdag efter DFS's årsmøde. Flytningen sker ifølge en beslutning på generalforsamlingen 2001 og formålet er at give flere mulighed for at deltage i mødet, f.eks. gymnasielærere. 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 27 eller via DFS's hjemmeside. Se også KIF's hjemmeside www.nbi.dk/kif for program, der opdateres løbende samt tidligere års programmer.

Valg til bestyrelsen og sektionerne i DFS

I henhold til DFS's love skal der afholdes valg til hovedbestyrelsen samt bestyrelsen for følgende sektioner i DFS: Faststoffysik, atomfysik og sektion for uddannelse og undervisning.

Valget udskrives hermed til torsdag den 25. april 2002. Forslag til kandidater skal være fremsendt senest 21 dage før, dvs. senest den torsdag 4. april 2002 til valglederen: Bjarne Andresen, Ørsted Laboratoriet, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, e-post: andresen@fys.ku.dk.

For at være gyldigt skal forslaget være ledsaget af tre medlemmers underskrifter som stillere samt af kandidatens underskrift. Alternativt kan forslag fremsendes som sektionernes eller bestyrelsens forslag. Forslag til de forskellige bestyrelser må meget gerne sendes elektronisk til valglederen (andresen@fys.ku.dk) ledsaget af navne (og e-post adresser) på mindst tre stillere og en erklæring om villighed til at modtage valg sendt direkte fra den foreslåede kandidat til valglederen.

Kvant 2/2002 vil udkomme i starten af april og det vil derfor være muligt at komme med valgindlæg i dette

nummer (deadline er den 1. marts)

KIF's bestyrelse er valgt i forbindelse med årsmødet 2001 med virkning fra 1. januar 2002 og er derfor ikke på valg.

Femtosecondlasers in Science

Der afholdes den 18.-19. marts en to-dages workshop på Risø med temaet "Femtosecondlasers in Science" sponsoreret af Forskerskolen "The Graduate School in Non-linear Science". Denne workshop er således ikke en regulær konference, men et møde med et "tuto-

rial" præg, hvor en række kendte foredragsholdere vil give en oversigt over, hvad der foregår internationalt på området.

Der er således to formål med mødet: Det skal give forskere på og udenfor Risø lejlighed til at orientere sig om, hvilke muligheder femtosekundlasere giver, og samtidigt skal det også tjene som kursus for ph.d. studenter i "Non-linear Science", optik, atom- og materialefysik.

For nærmere oplysninger: Kontakt Jørgen Schou (j.schou@risoe.dk). Programmet vil kunne ses på: www.risoe.dk/ofd/fs-lasers_conf.htm, ligesom man også vil kunne tilmelde sig på denne hjemmeside.

Tilmeldingsblanket - DFS Årsmøde 2002

DFS, IJAF og KIF årsmøder. Se også omtalen side 25-26

Bemærk!! 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 30. maj-31. maj 2002, 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; 2.125 kr.
- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på enkeltværelse; ikke-medlem; 2.450 kr.
- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på dobbeltværelse; DFS-medlem; 1.850 kr.
- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på dobbeltværelse; ikke-medlem; 2.175 kr.
- ☐ Deltager (også studerende) uden overnatning; DFS-medlem; 1.400 kr.
- ☐ Deltager (også studerende) uden overnatning; ikke-medlem; 1.600 kr.

- ☐ Studerende med overnatning på delt tre-sengs værelse; DFS-medlem; 1.525 kr.
- ☐ Studerende med overnatning på delt tre-sengs værelse; ikke-medlem; 1.650 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 1. juni 2002

Tilmelding her gælder deltagelse i KIF-årsmødet lørdag 1. juni 2002 samt frokost og eftermiddagskaffe. Overnatning er natten mellem fredag og lørdag (incl. morgenmad).

- ☐ Deltager med overnatning på enkeltværelse; 1.150 kr.
- ☐ Deltager med overnatning på dobbeltværelse; 850 kr.
- ☐ Deltager uden overnatning; 300 kr.

Denne blanket sendes senest 5. april 2002 til Hotel Nyborg Strand, 5800 Nyborg. Mærk kuverten 'DFS 2002'.

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



Steen Hannestad, NORDITA
8/4 i København, 15/4 i Århus

Molekyler i det interstellare rum og biokemiens oprindelse

David Field, IFA, Aarhus Universitet
29/4 i København, 6/5 i Århus.

Alle foredrag afholdes mandage. I København afholdes foredragene kl. 19.15 i auditoriet i Rockefeller Komplekset, Juliane Maries Vej 30. I Århus begynder vi kl. 19.15 i auditorium D3 på Matematisk Institut, Aarhus Universitet, Ny Munkegade. Der er *gratis adgang* for medlemmer af Astronomisk Selskab og Tycho Brahe Planetarium, tilmelding er ikke nødvendig. Øvrige kan melde sig via Folkeuniversitetet.

Foredrag i Jels i foråret

På Orion Planetarium i Jels afholdes en serie foredrag med astronomi som tema. Foredragene er:

21/2. Moderne partikelfysik

v/ lektor, dr. scient. Karsten Riisager, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

7/3. Exoplaneter

v/ cand. scient. Hans Bruntt, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Foredragsrækken arrangeres af Orion Planetarium i samarbejde med Folkeuniversitetet i Rødding, Gram, Nr. Rangstrup og Astronomisk Selskab. Foredragene starter kl. 19.30. Medlemmer af Astronomisk Selskab deltager gratis – tilmelding er ikke nødvendig. Øvrige kan deltage ved at betale ved indgangen. Pris: 40 kr. pr. aften.

Foredrag i København og Århus i foråret

Temaet i denne sæson er "eksotisk stof i Universet". Det indledende foredrag vil illustrere samspillet mellem laboratoriefysik og astrofysik. I de efterfølgende foredrag vil fire forskere præsentere, hvordan studiet af eksotiske tilstande og partikler har bidraget til ny viden om vores Univers. Foredragene er:

Neutrinomysteriet og Solen

Jørgen Christensen-Dalsgaard, IFA, Aarhus Universitet
25/2 i København, 4/3 i Århus

Sorte huller

Jakob Hansen, Teoretisk Astrofysik Center
11/3 i København, 18/3 i Århus

Mørkt stof og mørk energi

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

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

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

Karen G. Schmidt (kgs@gfy.ku.dk)

Lennart Sorth (Sorth@uni-c.dk)

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

DGF's rejselegat

2.-dels geofysikstuderende ved KU og AU, som ønsker dækning af registreringsgebyr og rejseudgifter ved deltagelse i konferencer, møder, feltarbejde og lignende har mulighed for at få støtte fra DGF's rejselegat.

Der uddeles årligt ca. 4 portioner af max. 1500 kr.

Ansøgningen skal indeholde beskrivelse af formål, en kopi af bachelorbevis, samt kopi af karakterudskrift og udtalelse fra vejleder. Der skal efterfølgende afleveres en kort redegørelse. Ansøgningen sendes til Dansk Geofysisk Forening, Geofysisk Afdeling, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø.

Ansøgningsfrist: **Torsdag den 1. april 2002**

Forårsprogram

Foreningens forårsprogram er på vej – hold øje med hjemmesiden www.gfy.ku.dk/dgf/program.html.

KVANT-nyheder

Redigeret af Michael Cramer Andersen

Første billede af mørkt stof

ASTROFYSIK. For første gang er det lykkedes astronomer at tage et billede og et spektrum af et Mørkt Stof-objekt i Mælkevejen. Rumteleskopet Hubble optog billedet af en svag rødlig stjerne, en "brun dværg" som for seks år siden afbøjede lyset fra en blå stjerne i Den Store Magellanske Sky (en satellitgalakse der kredser om Mælkevejen).



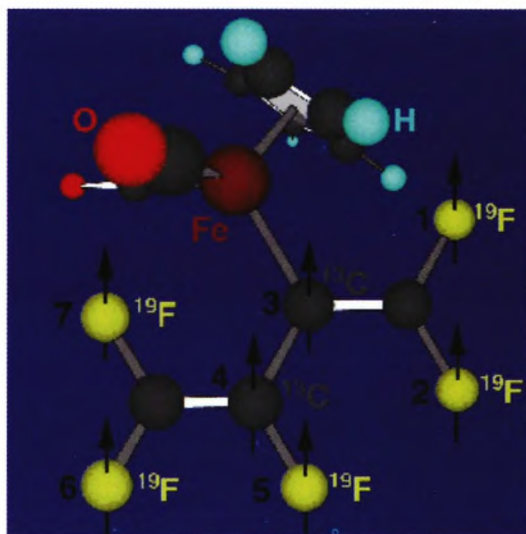
Figur 1. Pilen viser den rødlig stjerne – en brun dværg – der gik ind foran en fjern blå stjerne for nogle år siden og nu kan skelnes meget nær ved.

Fænomenet, der kaldes "gravitationel mikrolinsning", har været muligt i flere år og består i, at lyset fra en bagvedliggende stjerne fokuseres, og forstærkes kortvarigt, når det mørke objekt passerer ind foran. Objekter af denne type kaldes MACHOer (MASSIVE Compact Halo Objects) eller massive, kompakte halo-objekter. Ved at holde teleskoperne rettet mod millioner af stjerner i Den Store Magellanske Sky, er der siden 1993 opdaget ca. 20 MACHOer. Det betyder, at ca. halvdelen af Mælkevejens masse kan bestå af de mørke MACHOer. Lyskurvens form afhænger af om objektet er en brun dværg, en neutronstjerne, et sort hul eller en isplanet. Den rødlig stjerne befinder sig ca. 600 lysår væk og har en masse på 5 – 10% af Solens. Spektret der identificerer objektet som en brun dværg – en stjerne af spektraltype M – blev optaget efterfølgende med Very Large Telescope. Resultatet er en stærk bekræftelse af, at en stor del af det mørke stof i Universet skal findes som små, svagt lysende stjerner i galakser som Mælkevejen.

Kilde: Hubble-ESA pressemeddelelse 5. december 2001, <http://hubble.esa.int/hubble/news/newsarchive.cfm>

Kvantecomputer med 7 qubits realiseret af IBM

ATOMFYSIK. Forskere ved IBM har faktoriseret tallet 15 ved hjælp af Shors algoritme implementeret i en molekylær kvantecomputer (i et reagensglas). Kvantecomputeren kan foretage mange beregninger samtidigt og opererer med tilstande der kan være både "0" og "1" på én gang i modsætning til klassiske computere.



Figur 1. Det arbejdende molekyle i IBMs nye kvantecomputer som har faktoriseret tallet 15.

De arbejdende molekyler er specielt designet til at indeholde 7 kvantemekaniske tilstande: kernemagnetiske spin fra fem fluor-19 atomer og to kulstof-13 atomer. I væsken var opløst 10^{18} molekyler og tilstandene kunne præpareres og kontrolleres med magnetfelter og radiobølger gennem NMR-teknikker (NMR = kernemagnetisk resonans). Spinnene kunne vende mod nord eller syd, svarende til tilstandene "0" og "1", eller begge dele samtidig - en effekt af kvantemekanikkens mærkværdigheder. Computeren der manipulerede de 7 qubits kunne drage nytte af kvanteopløsningens unikke evner til parallel processing og opløse tallet 15 i dets primfaktorer 3 og 5.

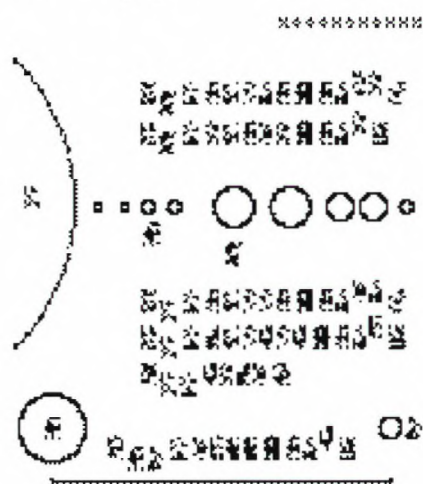
Især indenfor kryptering er faktorisering af store primtal vigtige. Shors algoritme giver en metode til faktorisering af et tal ved hjælp af forbundne kvantemekaniske tilstande ("entanglement"). Det er første gang, at Shors algoritme er afprøvet med succes i praksis. Det er et vigtigt skridt i udviklingen mod kvantecomputere der kan faktorisere større tal.

Kilder: Nature 414, side 883 (2001) og AIP Physics News 570, newton.ex.ac.uk/aip/physnews.570.html

Ny besked til intelligente arter

ASTROBIOLOGI. Hvad ville du skrive, hvis du skulle kommunikere med fremmede intelligensvæsener – og du ikke kendte deres sprog? De canadiske forskere Yvan Dutil og Stephane Dumas har konstrueret en meddelelse som de vil sende ud i rummet for at den eventuelt kan blive modtaget af andre intelligente arter. Men kan udenforstående mennesker på Jorden afkode budskabet? De har frigivet den for, at forskere her på Jorden kan demonstrere at den er forholdsvis let at afkode (www3.sympatico.ca/stephane_dumas/CETI/output_stream.txt).

Et første blik på meddelelsen afslører, at den består af næsten 300.000 nuller og et-taller, hvoraf ca. 87% er nuller. Man vil forvente (ved kendskab til opbygningen af tidligere udsendte budskaber), at de ved at kode for sorte og hvide pixels kan danne et eller flere billeder. Der er frigivet et fragment af meddelelsen som test på at man finder det rigtige:



Figur 1. En del (en side) af budskabet er frigivet sammen med koden. De underlige tegn er defineret tidligere i meddelelsen og de repræsenterer fundamentale matematiske og videnskabelige begreber.

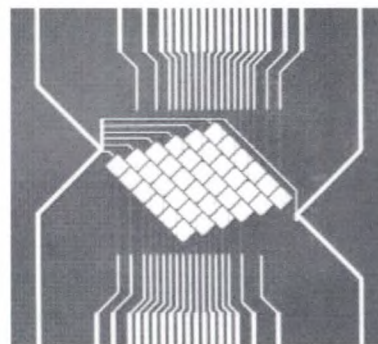
Der findes en grundig gennemgang af et tidligere udsendt (1999) budskab hvor symbolerne er forklaret. Kilde: New Scientist 8. jan 2002, www.newscientist.com/news/news.jsp?id=ns99991757

Superledende kamera vil revolutionere astronomien

ASTROFYSIK. Forskere ved det europæiske rumagentur (ESA), har udviklet et nyt kamera der kan komme til at revolutionere måden man som astronom kan udforske Universet på. CCD-kameraet, der stadig er blevet udviklet til professionel brug i astronomien og remote sensing i satellitter (og også har fundet vej til video- og digitalkameraer) har den ulempe, at de enkelte pixels kun kan registrere flere fotoner og aldrig deres bølgelængde eller præcise ankomsttidspunkt. Man må nøjes med at integrere over et større bølgelængdeområde (bestemt af filtre) og over mindst et sekund.

I 1992 blev det klart, at superledere i teorien ville

være følsomme overfor både optisk og infrarødt lys. Et superledende kamera ville kunne registrere hver eneste foton, måle dens bølgelængde og registrere dens ankomsttidspunkt med uhørt præcision og hastighed. ESA har i det forløbne årti satset på at udvikle et sådant superledende kamera, et "S-Cam", og kan nu præsentere de første målinger.



Figur 1. Optisk mikroskop billede af S-Cams 6x6 array af pixels der er forbundet til elektronik og computer.

S-kameraet sender alle informationer om lyset til en computer, der opbygger en hel database om objektet. Med denne guldmine af data kan astronomen lede efter samtidige ændringer i lysstyrke og farve af et astronomisk objekt på tidsskalaer under 1 millisekund. Det er med andre ord et sammenbygget kamera og spektroskop med høj tidsopløsning. Som eksempler på hurtigt varierende astronomiske objekter, der med fordel kan studeres med kameraet, kan nævnes: kataklysmiske variable, gammaglimt, kvasarer, pulsarer og eksplosioner på neutronstjerner. Kameraet blev testet ved William Herschel Teleskopet på La Palma, og kunne f.eks. meget let måle afstanden til ti kvasarer. Det kan komme til at betyde meget for kosmologien.

Kilde: ESA News 10. jan 2002, sci.esa.int/structure/query/indexnewsarchive.cfm?aid=1&cid=12

Gymnasiopgaver med observationer fra Hubble

UNDERVISNING. Hubble ESA Information Centre har i samarbejde med ESA og ESO udgivet 6 gratis hæfter med opgaver som frit kan benyttes i astronomi- og fysikundervisningen i gymnasier og tilsvarende. Opgaverne fokuserer på det basale problem i astronomien: at bestemme afstande til astronomiske objekter. Eleverne kan prøve kræfter med bestemmelsen af afstanden til Supernova 1987A, Galaksen M100, Katteøje-tågen eller en Kugleformet Stjernebob. To af hæfterne indeholder henholdsvis en introduktion og en værktøjskasse. Alle hæfterne er på engelsk og kan downloades som pdf-filer på: www.astroex.org. De kan også rekvireres (som trykte hæfter eller CD-ROM) ved at skrive til: Arntraud Bacher (abacher@eso.org) eller Lars L. Christensen (lars@eso.org).

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

X-ray Deep Fields

Jesper Rasmussen, Astronomisk Observatorium, Københavns Universitet

1995 offentliggjordes de såkaldte Hubble Deep Field observationer, som var nogle dybe optiske eksponeringer af udvalgte områder på himlen, observeret med NASA's rumteleskop Hubble. Siden fremkomsten af disse billeder og i kraft af den rivende udvikling indenfor astronomisk instrumentteknik er det blevet populært at anvende både jord- og rumbaserede teleskoper til lignende dybe eksponeringer, der bl.a. giver mulighed for at se tilbage til de tidligste faser i galaksernes udvikling. Indtil for nylig har det dog ikke været frugtbart at anvende teleskoper som kunne observere i røntgenområdet til dette formål, men med opsendelsen af NASA's røntgensatellit *Chandra* i 1999 og efterfølgende ESA's *XMM-Newton* er det blevet videnskabeligt relevant at lave sådanne "X-ray Deep Fields". Denne nye generation af røntgenteleskoper har nemlig langt større følsomhed og billedopløsning end tidligere satellitter (sidstnævnte specificeret bl.a. ved den såkaldte punktsprednings-funktion, som beskrevet i [1]).

Her vil vi diskutere nogle karakteristika ved to af disse X-ray Deep Fields taget med hhv. *XMM* og *Chandra* samt beskrive igangværende arbejde relateret til detektion af fjerne galaksehobe i et af felterne.

Dybe røntgenobservationer

De offentliggjorte X-ray Deep Fields er alle stykket sammen af individuelle, kortere eksponeringer. Med *XMM* er på denne måde opnået i alt 100 kilosekunders (100 ks) brugbar eksponeringstid af et område på himlen kaldet Lockman-Hullet, vist i figur 1. Dette felt er tidligere blevet observeret af den nu "pensionerede" røntgensatellit *ROSAT* og er i det hele taget populært for røntgenobservationer pga. dets meget lave forekomst af neutralt brint, som ellers ville absorbere en del af den langbølgede røntgenstråling. Tilsvarende er der med *Chandra* lavet to X-ray Deep Fields; det ene overlapper det såkaldte Hubble Deep Field North, et felt som blev observeret af Hubble-teleskopet, mens det andet (med en samlet eksponeringstid på 1 Ms) er synligt fra den sydlige halvkugle og derfor har fået navnet *Chandra* Deep Field South (CDFS), se figur 2. Der er desuden planlagt yderligere observationer, dels *Chandra*-eksponeringer af Nord-feltet (omkr. 1 Ms om året) og dels opfølgende *XMM*-eksponeringer af CDFS, men i det følgende vil vi koncentrere os om observationerne vist i figur 1 og 2. For at forstå vigtigheden af de nye resultater fra disse X-ray Deep Fields skal vi dog først lave en lille afstikker til en kort beskrivelse af røntgenbaggrundsstrålingen.

Selv nogle af de allerførste astronomiske røntgen-

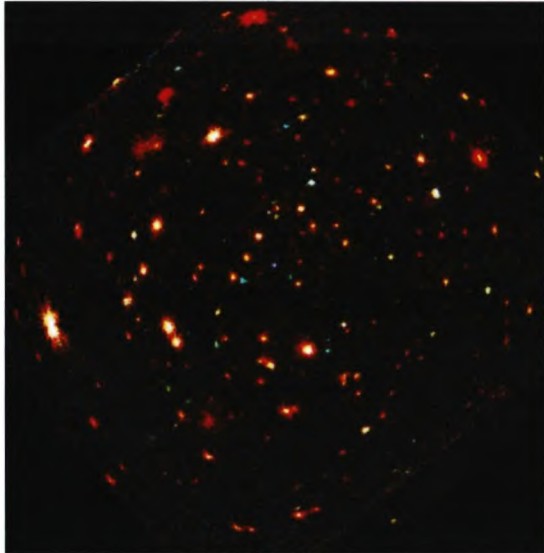
observationer, udført først i 1960'erne med bl.a. raketbårne teleskoper, pegede på at der udover tydelige individuelle kilder på himlen også syntes at komme et vist niveau af røntgenstråling fra alle andre retninger. Dette blev senere bekræftet med stadig større præcision af efterfølgende satellitter. Men selvom den faktisk blev opdaget eksperimentelt et par år før den kosmiske mikrobølge-baggrundsstråling, har denne kosmiske *røntgenbaggrund* i alt væsentligt unddraget sig observationel forklaring indtil for ganske nylig. Som mikrobølgebaggrunden ses den i alle retninger på himlen og er ved fotonenergier over 2–3 keV (bølgelængder under 5 Å) ganske homogent fordelt. Det viste sig, at den spektrale fordeling (intensitet I som funktion af fotonenergi E i keV) af røntgenbaggrunden kan beskrives ganske godt ved et udtryk af formen $I(E) = A[E/3]^{-\alpha} \exp(-E/W)$ over et stort interval i fotonenergier. Her er A , α og W konstanter, som kan bestemmes ud fra observationer (se f.eks. [2] for en udførlig – men teknisk – beskrivelse af røntgenbaggrunden). Et sådant spektrum minder meget om det man kunne forvente fra en tynd, varm gas i termodynamisk ligevægt, hvilket gav anledning til spekulationer om at røntgenbaggrunden primært skyldes en homogen fordeling af varm gas spredt ud gennem Universet. Som vi nu skal se, kan dette dog kun være en meget lille del af forklaringen.

En ny population af objekter

I både figur 1 og 2 ses mange punktlignende kilder; specielt ses i figur 1 mange røde og grønne punktkilder, dvs. punktkilder som udsender relativt "blød" røntgenstråling med fotonenergier mellem 0.5 og 4.5 keV. Mange af disse kilder i Lockman-Hullet kunne også ses i *ROSAT*'s tidligere 1.3 Ms eksponering af området og var således kendt i forvejen. Langt størstedelen af dem vides at være aktive galaksekerner i form af supermassive sorte huller (formentlig på adskillige millioner solmasser), som i centeret af deres værtsgalakser er i færd med at sluge enorme stofmængder. I processen opvarmes det indfaldende stof til millioner af grader og udsender herved intens røntgenstråling. Detektionen af store mængder blød røntgenstråling fra disse kilder viser, at det meste af strålingen passerer næsten uhindret igennem til teleskoperne uden at blive absorberet af f.eks. neutralt brint omkring det sorte hul.

Da både *XMM* og *Chandra* har langt større følsomhed for "hård" røntgenstråling med fotonenergier på 5–10 keV (1.2–2.4 Å) end tidligere satellitter, kunne man på forhånd forvente interessante nye resultater i dette spektralområde. De blå objekter i

figur 1 er netop eksempler på punktkilder som ikke har været detekteret før med hverken *ROSAT* eller andre instrumenter. Disse kilder repræsenterer faktisk en helt ny population af objekter, hvis eksistens var forudsagt af visse teoretiske modeller til forklaring af den kosmiske røntgen-baggrundsstråling [3]. Kilderne er relativt svage og udviser meget “hårde” spektre, hvor langt det meste af den detekterede røntgenstråling er i form af fotoner med energier over 2–3 keV (se figur 3). Spektralanalyse af de nye objekter kunne tyde på, at også de er aktive galaksekerner, hvis røntgenstråling – i modsætning til de blødere punktkilder – er voldsomt absorberet af bl.a. neutralt brint.



Figur 1. Kombineret 100 ks *XMM* eksponering af Lockman-Hullet (skala: 30×30 buemin.). Farverne angiver fotonenergier: Rød svarer til “blød” røntgenstråling med energier mellem 0.5–2 keV, grøn til 2–4.5 keV, og blå til “hård” røntgenstråling med energier 4.5–10 keV.

Men hvad adskiller fysisk de bløde og hårde punktkilder? I den såkaldt forenede model for aktive galaksekerner (engelsk: *unified AGN model*) er både de bløde og hårde punktkilder i virkeligheden forskellige repræsentationer af det samme objekt: Et supermassivt sort hul omgivet af en torus af gas og støv (se figur 4). Hvis sigtelinien til objektet tilfældigvis passerer gennem torus'en, vil stort set al den bløde røntgenstråling absorberes i vores synsretning, og vi detekterer objektet som en hård røntgenkilde (altså de blå kilder i figur 1). Ser vi derimod torus'en fra oven, har vi mere eller mindre frit udsyn mod stoffet omkring det sorte hul, og dermed kan også den bløde røntgenstråling nå os (de røde og grønne kilder).

I det meget dybe CFDS billede, figur 2, ses så svage og fjerne punktkilder at op mod 90% af 0.5–10 keV røntgen-baggrundsstrålingen på basis af både *XMM*- og *Chandra*-resultaterne nu kan tilskrives det integrerede strålingsbidrag fra individuelle kilder, nemlig først og fremmest disse to “udgaver” af aktive galaksekerner

[4]. Dette er et yderst vigtigt resultat: Dels har det bidraget meget væsentligt til at løse det 40 år gamle mysterie om oprindelsen af røntgenbaggrunden (som nu altså viser sig primært at komme fra individuelle objekter fremfor f.eks. en homogen fordeling af varm gas spredt ud gennem Universet), og dels viser det at det tidlige univers myldrede med supermassive sorte huller i centeret af unge galakser – og det med en grad af røntgenaktivitet, der langt overgår hvad vi ser i det nære Univers i dag. De forskellige X-ray Deep Fields tillader os således på een gang at “opløse” det meste af røntgenbaggrunden i enkelte kilder og samtidig se tilbage til tidspunkter, hvor almindelige galakser som f.eks. Mælkevejen var mange mia. år yngre. For første gang har vi altså mulighed for at udnytte røntgendata til at studere dannelsen og udviklingen af galakser på en kosmologisk (tids-)skala.



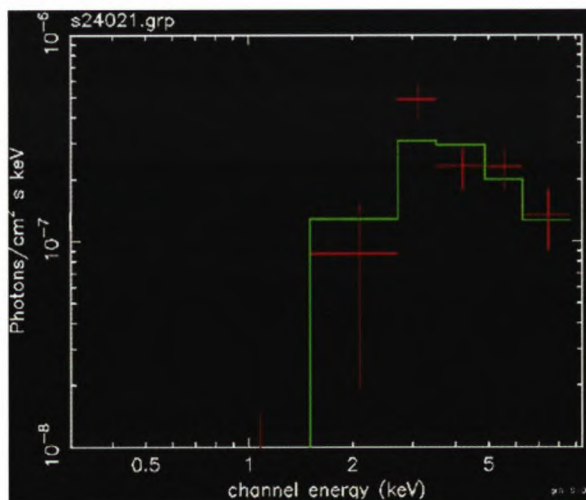
Figur 2. Kombineret 1 Ms *Chandra* eksponering af Chandra Deep Field South (skala: 16×16 buemin.). Dette var på tidspunktet for offentliggørelsen det hidtil dybeste røntgenbillede af noget område på himlen (nu overgået af Chandra Deep Field North) og indeholder objekter mere end 12 mia. lysår væk (rødforskydning $z > 5$). Farverne angiver intensitet: Rød svarer til lav intensitet, gul til middel og blå til høj intensitet.

Galaksehobe i Chandra Deep Field South

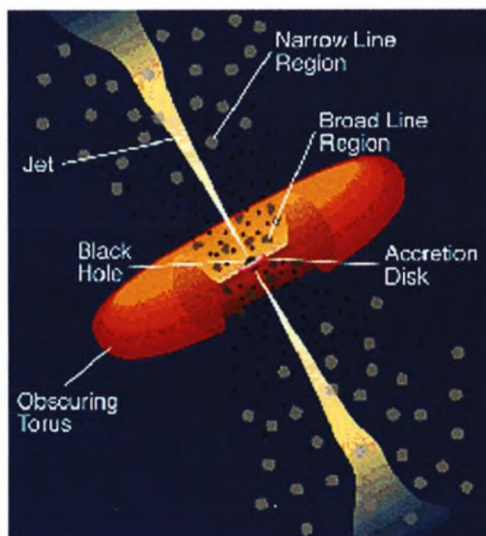
Foruden de diskutererede punktkilder er der også udstrakte røntgenkilder i de to Deep Fields, repræsenteret ved grupper og hobe af galakser (disse bidrager naturligvis også til røntgenbaggrunden, omend i et relativt beskedent omfang). Med *Chandra*'s instrumentfølsomhed og billedopløsning samt den lange eksponeringstid er det f.eks. realistisk at håbe på, at meget fjerne galaksehobe kan detekteres i dataene vist i figur 2 (se også boks 1).

I denne sammenhæng er CFDS-feltet blevet komplementeret af jordbaserede observationer i det nær-

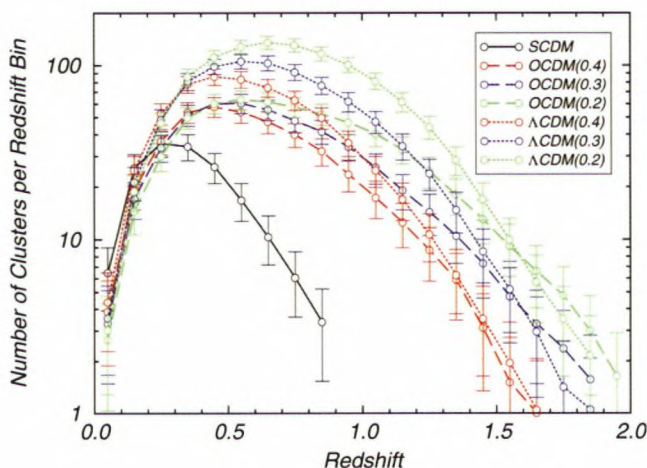
infrarøde. Selvom relativt nære galaksehobe er optisk meget klare objekter, kan eftersøgninger af fjerne hobe nemlig bedre betale sig i det nær-infrarøde pga. rødforskydningen. Som et led i det såkaldte ESO Imaging Survey-projekt [6, 7] er der foretaget observationer af CDFS i de infrarøde J - og K -filtre ved ESO's NTT-teleskop. Analyse af disse billeder burde kunne afsløre tilstedeværelsen af eventuelle hobkandidater med rødforskydninger $z \simeq 0.5 - 1.2$, uafhængigt af røntgendataene.



Figur 3. Spektrum af et af de nye (blå) objekter i figur 1. De røde punkter er røntgendataene inkl. de formelle usikkerheder, den grønne kurve et modelfit til dataene. På trods af den begrænsede fotonstatistik (bemærk f.eks. den store usikkerhed på målepunkterne, angivet ved størrelsen af "krydserne") er det tydeligt, at der detekteres meget lidt stråling med energier under 2 keV.



Figur 4. Den forenede model for aktive galaksekerner. I centeret befinder sig et supermassivt sort hul, som omgives af opvarmet, røntgenstrålende gas. Omkring dette befinder sig en torus (en "vanillekrans") af kold gas og støv, som absorberer røntgenstrålingen med højere og højere effektivitet jo nærmere synslinien til objektet er på torus'ens plan. Vinkelret herpå udgår en jetstrøm af ladede partikler.



Figur 5. Det forventede antal galaksehobe i intervaller af $\Delta z = 0.1$ som funktion af rødforskydningen z (for hobe klarere end $5 \times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ i energiintervallet 0.1–12 keV). Kurverne er resultater af kosmologiske simulationer [5] for et 64 kvadratgraders område på himlen og repræsenterer forskellige kosmologiske modeller. De røde, blå og grønne kurver angiver modeller, hvori den gennemsnitlige stoftæthed i Universet er hhv. 40%, 30% og 20% af værdien i modellen angivet ved den sorte kurve. Man ser, at for høje rødforskydninger afhænger den rumlige tæthed af hobe afgørende af Universets stoftæthed (figuren venligst gengivet med tilladelse fra forfatterne).

Søgning efter fjerne galaksehobe i infrarød og røntgen

I det optiske/infrarøde ses en galaksehob typisk som en tilsyneladende overtæthed af galakser i et givent område på himlen. Derfor kan der ledes efter galaksehobe ved f.eks. at søge efter overtætheder i den projicerede fordeling af observerede objekter og teste hvorvidt sådanne overtætheder matcher en forventet tæthedsprofil for en typisk hob. Har man observationer i to eller flere filtre kan man alternativt (eller i kombination med den første metode) udnytte muligheden for tildeling af en infrarød "farve" til alle detekterede objekter. Teoretisk forhåndskendskab til farverne af bestemte hobgalakser ved en given rødforskydning tillader så, at man ved at lede efter overtætheder af objekter med en bestemt farve potentielt kan identificere disse med en galaksehob ved en given rødforskydning (sidstnævnte får man altså "gratis" med i købet ud fra farven af galakserne). Denne farvemetode, hvor man simpelthen søger at isolere en karakteristisk population af hobgalakser ved en bestemt rødforskydning (den såkaldte "røde sekvens" af elliptiske galakser), danner i øvrigt basis for et igangværende hob-eftersøgningsprojekt (*The Red Sequence Cluster Survey* – se [8]). Metoden kan desuden bidrage til at eliminere hobkandidater som fejlagtigt er blevet detekteret som hobe pga. projektions-effekter: Hvis der i det pågældende område er mange galakser langs synslinien – uden at disse nødvendigvis er fysisk tæt på hinanden, endsige gravitationelt bun-

det – kan det ofte umiddelbart se ud som en hob. Men finder man samtidig den omtalte røde sekvens af galakser, er den fysiske realitet af hoben straks på lidt mere sikker grund. Under alle omstændigheder skal der dog generelt opfølgende observationer til for sikkert at fastslå hobens eksistens – f.eks. spektroskopi af de enkelte hobgalakser (for at måle deres rødforskydninger præcist) og/eller røntgenbilleder af hoben.

I modsætning til det infrarøde tilfælde ser man i røntgen (i hvert fald for fjerne hobe) nemlig ikke de individuelle galakser i hoben, men derimod den varme gas *mellem* galakserne. Denne gas har typisk en temperatur på $\sim 10^7$ K og er blevet opvarmet primært i forbindelse med gassens indfald og komprimering i hobens tyngdepotential. Denne væsensforskel på hobes udseende i de to bølgelængdeområder betyder, at der også er forskel på de metoder man anvender til at detektere hobene. Eksempelvis kan man i røntgen sjældent tillade sig den luksus at begrænse sig til at kigge på et bestemt interval i fotonenergier, når man skal detektere svage objekter. Dette skyldes ganske enkelt at der i forvejen ofte er meget få fotontællinger i de enkelte pixels i billederne. Man kan derfor ikke tillade sig at smide nogle af fotonerne væk, så her må bruges andre metoder (interesserede henvises til f.eks. [9], men det vil føre for vidt at komme ind på de tekniske detaljer her). Røntgenobservationer har til gengæld den fordel, at de stort set udelukker projektionseffekter, fordi tilstedeværelsen af store mængder varm, røntgenstrålende gas samtidig indikerer tilstedeværelsen af et dybt gravitationspotential og dermed en fysisk struktur i rummet. Med *ROSAT* og ikke mindst *XMM* og *Chandra* er røntgenobservationer derfor blevet et vigtigt værktøj til søgning efter fjerne hobe eller opfølgning på allerede detekterede kandidater.

Boks 1. Hvorfor er det interessant at finde fjerne galaksehobe?

Galaksehobe er interessante objekter af mange grunde, ikke mindst i kraft af det faktum at de er de største gravitationelt bundne strukturer i Universet. Men selvom mange nære galaksehobe efterhånden er ganske velstuderede og deres overordnede egenskaber forstået, kan antallet af kendte hobe med rødforskydninger $z > 1$ stadig tælles på to hænder. En af de vigtigste grunde til at lede efter sådanne hobe er, at deres egenskaber og rumlige fordeling sætter meget stærke bånd på kosmologiske modeller. Numeriske simulationer viser eksempelvis, at den rumlige tæthed af galaksehobe omkring en given (høj) rødforskydning afhænger stærkt af den samlede stofmængde i universet (se figur 5). Observationer og analyse af fjerne hobe kan derfor bidrage til en forståelse af Universets "startbetingelser" såvel som af dannelsen og udviklingen af strukturer frem mod de nære galakser og hobe, vi ser i dag.

De første resultater: En hobkandidat i røntgen-/infrarød?

Som et led i vores eget arbejde relateret til detektion af galaksehobe i CDFS blev der ud fra de infrarøde (IR) data fra NTT kompileret en foreløbig liste på 20 hobkandidater, på basis af ovennævnte farvemetode. Målet er så dels at undersøge hvad vi uafhængigt heraf kan finde af udstrakte røntgenkilder i *Chandra* dataene med forskellige teknikker, og dels at forsøge at korrelere de infrarøde hobkandidater med nogle af disse røntgenkilder. Pointen med sidstnævnte skridt er bl.a. at dette netop kan frembringe en uafhængig bekræftelse på, at IR-hobkandidaterne reelt *er* galaksehobe. Det stod dog med det samme klart at ikke alle 20 kandidater kunne være individuelle hobe, bl.a. fordi der var flere dobbeltdetektioner hvor den automatiserede detektionssproces havde fundet to hobe på stort set samme position.

De tre mest signifikante IR-kandidater viste sig at ligge indenfor et relativt lille område (et kvadratueminut) – to af dem netop så tæt på hinanden at der formentlig reelt er tale om den samme hob. Som en første øvelse har vi derfor forsøgt at detektere udstrakte røntgenkilder i området omkring disse tre kandidater ud fra *Chandra* observationerne. Resultatet i form af røntgen-intensitetskonturer efter en "rå" baggrundsfratrækning er vist i figur 6 for den samlede *Chandra*-eksponering. Tæt på to af hobkandidaterne ses ganske rigtigt en røntgenkilde, med en udstrækning i størrelsesordenen 20 buesekunder. Men de to IR-kandidater ligger ved en omtrentlig rødforskydning på $z \simeq 0.8 - 0.9$, og selv i denne afstand ville en typisk hob fylde flere hundrede buesekunder. Den tredje IR-kandidat øverst i billedet er endog en anelse tættere på, så den kan umiddelbart heller ikke identificeres med røntgenkilden. Kilden er således næppe en hob, men dens natur er dog noget usikker; opfølgende Hubble-optagelser af feltet afslører et meget svagt objekt som i mangel af dybere data er blevet karakteriseret som en optisk svag spiralgalakse [10].

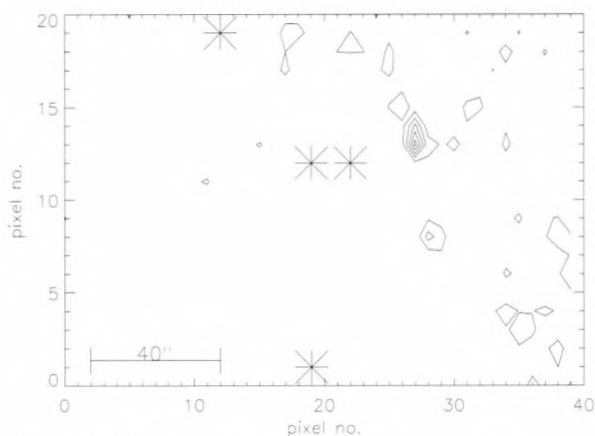
Det skal dog nævnes at figur 6 er produceret på basis af en "rå" sammenlægning af de individuelle *Chandra*-eksponeringer, uden at skele til at disse er taget med varierende *rotationsvinkel* af teleskopet. Det svarer lidt til at tage en serie billeder med et kamera, hvor man for hvert billede holder kameraet lidt mere skråt end det i foregående billede – og så til sidst lægge hele serien sammen til eet billede uden at tage hensyn til dette. Derfor kan man ikke umiddelbart slutte af figur 6, at der ikke synes at være nogen udstrakte røntgenkilder som kan kædes sammen med de "bedste" IR-hobkandidater. En langt mere omhyggelig analyse af røntgendataene må gennemføres, før vi kan udtale os om tilstedeværelsen og naturen af svage, diffuse røntgenkilder i dette område, og hvorvidt disse eventuelt kan identificeres med galaksehobe. Arbejdet er langt fra simpelt, ikke mindst fordi der kræves en god del forbehan-

dling af *Chandra* dataene for at få samlet de individuelle eksponeringer til eet enkelt billede som det fremstår i figur 2.

Status og fremtidigt arbejde

På nuværende tidspunkt er den oprindelige liste på 20 infrarøde hobkandidater reduceret til blot fire (ved bl.a. at eliminere de omtalte dobbeltdetektioner), hvoraf en er "dobbelthoben" i centrum af figur 6. På lidt længere sigt er det desuden tanken at forsøge at få spektroskopiske observationer af galakserne i de enkelte hobkandidater for at be- eller afkræfte at galakserne rent faktisk ligger ved nogenlunde samme rødforskydning (som man naturligvis ville forvente, hvis der var tale om en hob).

I forbindelse med røntgenanalysen skal vi som nævnt først have samlet *Chandra* dataene til et "pænt" billede, før vi kan begynde det omfattende arbejde med at afprøve forskellige metoder til detektion af udstrakte røntgenkilder og karakterisering af de detekterede kilder. Det er samtidig også planen at teste disse metoder på *XMM*'s data for Lockman-Hullet.



Figur 6. Røntgen-intensitetskonturer i den samlede 1 Ms *Chandra* eksponering af området omkring de tre mest signifikante IR-hobkandidater (de tre øverste '*'-er). Den nedreste '*' er en fjerde, mindre signifikant hobkandidat. Den formelle usikkerhed på hobkandidaternes positioner er for overskuelighedens skyld ikke indikeret. Skalaen er markeret i buesekunder med en "lineal" nederst i billedet.

Vores arbejde med at detektere fjerne galaksehobe i røntgen og infrarød i de omtalte felter kan betragtes som et forstudie til et ambitiøst *XMM*-projekt, nemlig det såkaldte *XMM* Large-scale Structure Survey [11]. Dette sigter mod at kortlægge et 8×8 graders

område på himlen med i alt 576 *XMM*-eksponeringer á 10 ks, dvs. i alt mere end to måneders eksponeringstid. De første data for den centrale del af feltet blev taget i juli-august i år, og næste serie forventes taget i februar-marts 2002. I dette projekt deltager danske forskere ved bl.a. Astronomisk Observatorium, og et af hovedformålene er netop at lede efter fjerne hobkandidater i røntgendataene og at følge op på disse med infrarøde optagelser. Nogle af forventningerne til projektet er illustreret i figur 5 i form af det forventede antal hobe i dette survey i forskellige kosmologiske modeller. Givet en tilstrækkelig høj succesrate i detektionen af især fjerne hobe kan dette projekt i sidste ende bidrage betydeligt til bestemmelsen af vigtige kosmologiske parametre, som f.eks. den gennemsnitlige stoftæthed – og dermed den samlede stofmængde – i Universet.

Referencer:

- [1] P. Møller og J. P. U. Fynbo (2001) *Kvant*, 12. årg., nr. 2, s. 3.
- [2] E. Boldt (1987) *Physics Reports*, bind 146, nr. 4, side 215
- [3] R. Gilli, M. Salvati og G. Hasinger (2001) *Astronomy & Astrophysics*, bind 366, side 407.
- [4] P. Tozzi m.fl. (2001) *Astrophysical J.*, bind 562, side 42.
- [5] J. Sommer-Larsen og M. Götz (2001), <http://xxx.lanl.gov/abs/astro-ph/0109226>
- [6] <http://www.eso.org/science/eis/index.html>
- [7] M. Nonino m.fl. (1999) *Astronomy & Astrophysics Supplement*, bind 137, side 51.
- [8] <http://www.astro.utoronto.ca/~gladders/RCS/>
- [9] I. Valtchanov, M. Pierre og R. Gastaud (2001), *Astronomy & Astrophysics*, bind 370, side 689.
- [10] E. J. Schreier m.fl. (2001) *Astrophysical J.*, bind 560, side 127.
- [11] http://vela.astro.ulg.ac.be/themes/spatial/xmm/LSS/index_e.html



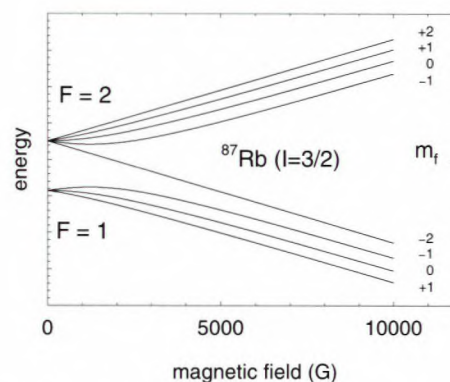
Jesper Rasmussen er ph.d.-studerende ved Astronomisk Observatorium og er tilknyttet en forskergruppe, der bl.a. arbejder med røntgenkosmologi (se www.astro.ku.dk/xcosmos/). Arbejdet beskrevet i denne artikel er under udførelse i samarbejde med Lisbeth F. Olsen og Kristian Pedersen ved Observatoriet.

Nobelprisen i fysik 2001

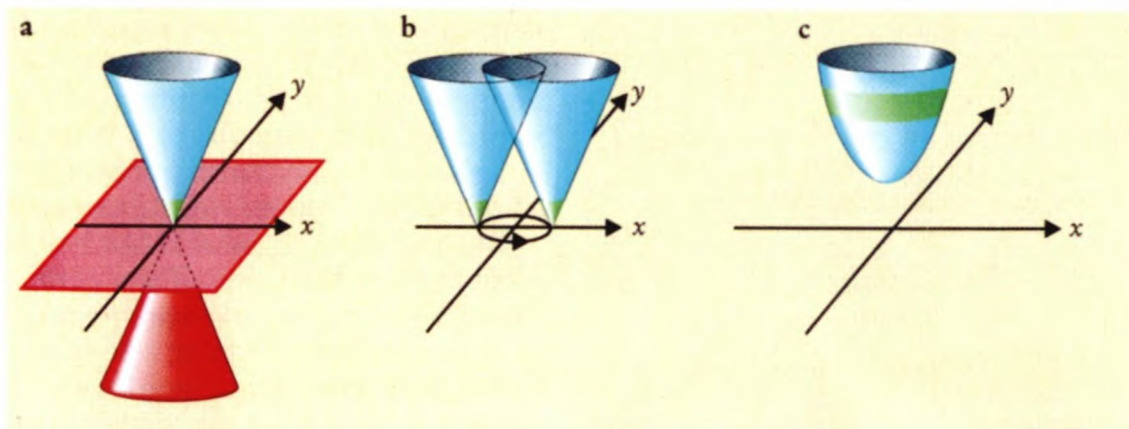
Kirstine Berg-Sørensen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Nobelprisen i fysik 2001 er blevet tildelt *Eric A. Cornell*, *Wolfgang Ketterle* og *Carl E. Wieman* for "opnåelse af Bose-Einstein kondensering i en kold atomar gas, og for tidlige fundamentale studier af egenskaberne af kondensaterne". Arbejdet er forholdsvis "ungt": Den første observation af Bose-Einstein kondensering i en kold gas af rubidium-87 atomer kom i 1995 af en gruppe ledet af Eric Cornell og Carl Wieman ved JILA, Boulder, Colorado. Senere samme år opnåede Wolfgang Ketterle og hans gruppe ved MIT, Cambridge, Massachusetts, kondensation af kolde natrium-23 atomer. Vejen mod Bose-Einstein kondensation i en kold atomar gas blev bl.a. banet af udviklingen af metoder til laserkøling af atomer, for hvilke Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji og William D. Phillips fik Nobelprisen i fysik i 1997, som beskrevet i et tidligere nummer af Kvant [1]. Laserkøling vil derfor ikke blive behandlet i det følgende. En beskrivelse af nogle af de tidlige eksperimenter med Bose-Einstein kondensering kan også findes i [1,2]. Lidt flere detaljer findes f.eks. i Physics Today [3] eller på Nobelprisens hjemmeside [4].

Fortsættes side 8.



Figur 1. En magnetisk fælde er baseret på Zeeman-opsplitningen af de atomare niveau'er. I figuren er vist Rb-87 atomets Zeeman-opsplitning i grundtilstanden. Atomer i $|F = 2, m_f = 2\rangle$ og $|F = 2, m_f = 1\rangle$ har lavest energi hvor magnetfeltet er svagest. Disse tilstande kan derfor fanges i en magnetisk fælde, hvor feltstyrken er mindst i fældens centrum. Vi antager at atomet i ethvert punkt er kvantiseret langs magnetfeltets retning. RF-induceret fordampningskøling foregår ved at radiobølgen (via mellem-liggende tilstande) skaber en overgang fra en "indfangningstilstand" som $|F = 2, m_f = 2\rangle$ til en "frastødt tilstand" som $|F = 2, m_f = -2\rangle$. Kilde: Boulder gruppens hjemmeside.



Figur 2. TOP fælden. a) En kvadrupol fælde har et konisk potential (blå), der f.eks. fanger atomer i $F = 1, m_f = 1$ tilstanden. Nær spidsen af potentialet (grønt i figuren) kan de indfangne atomer nemt skifte til $m_f = 0$ eller $m_f = 1$ tilstanden, der ser de røde potentialer og derfor tabes fra fælden. b) Tilføjelse af et uniformt, roterende, felt har den effekt at kvadrupol potentialet roteres i rummet. c) Atomerne i $m_f = -1$ tilstanden følger effekten af det gennemsnitlige potential, og kun "varme" atomer nær det instantane felt-nulpunkt (grønt område) tabes fra fælden. Kilde: Physics Today, august 1995.