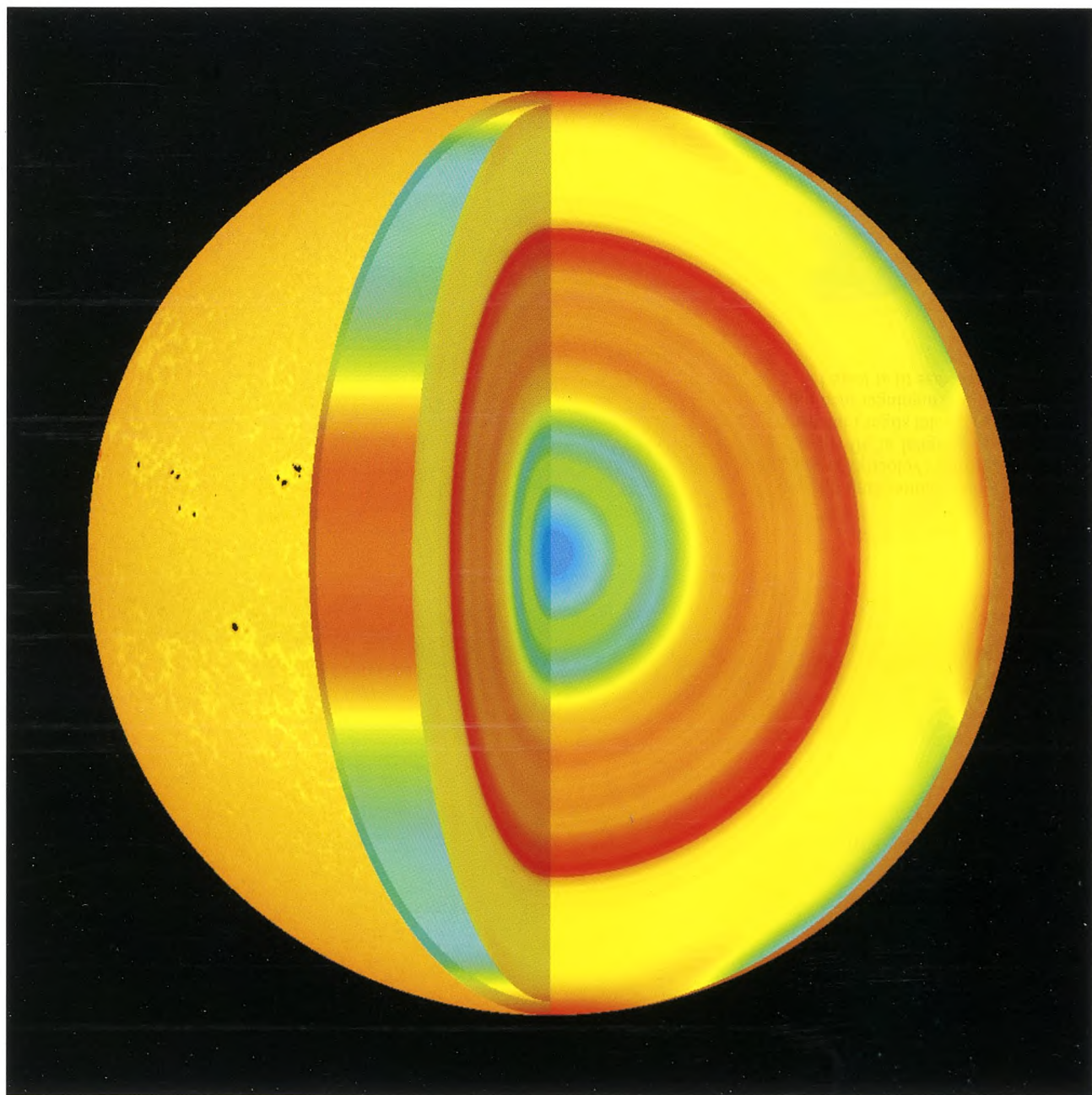


KVANT November 3 2003

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 14. årgang



- FYSIKKENS FREMTID? •
- OBSERVATIONER AF STJERNESKÆLV •
- FLYDEVÆGTEN – RØMERS HYDROSTATISKE MÅLINGER •

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

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

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

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

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

Annoncepriser

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

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

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



Produktionsplan

Nr. 1-04 udkommer ca. 15. marts

Nr. 2-04 udkommer ca. 15. maj

Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

Indhold:

Observationer af stjerneskelv <i>Hans Kjeldsen og Tim Bedding</i>	3
Flydevægten – Rømers hydrostatiske målinger <i>Erling Poulsen,</i>	11
FREJA-dag 12. januar 2004 <i>Tina Christensen</i>	14
Nyt fra Astronomisk Selskab	15
Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse	16
Kupon til bestilling af Kvant	18
Fysikkens fremtid? <i>G. T. Einevoll, P. B. Lilje, og C. A. Lütken</i>	19
Dansk Fysisk Selskabs årsmøde 2004	27

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

Forsiden:

SOLEN

Solen har i dette efterår været i stor aktivitet. Men hvad foregår der i Solens indre under den urolige overflade? Læs mere i artiklen på side 3 om stjerneskelv.

De blå lag på forsidebilledet viser områder, hvor lydens hastighed og dermed temperaturen i Solens indre er lavere end forventet, mens de røde områder har en højere lydhastighed og temperatur. Det røde område ca. en trediedel af vejen fra Solens overflade til dens centrum har således en uventet høj temperatur i overgangszonen mellem den turbulente (konvektive) ydre del og den mere stabile indre del af Solen. Billedet er lavet på grundlag af målinger med instrumenter ombord på SoHO (Solar and Heliospheric Observatory) satellitten.

Observationer af stjerneskelv: Seismiske undersøgelser af stjernernes indre

Hans Kjeldsen, Teoretisk Astrofysik Center, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet og Tim Bedding, School of Physics, University of Sydney, Australien

Undersøgelse af stjernernes indre

Observationer af stjernernes og Solens lys (fra radiostråling via synligt lys til Røntgenstråling) og partikelstråling gør det muligt at undersøge de fysiske forhold på stjernernes overflade og i deres atmosfærer. Vi har herved opbygget et meget detaljeret billede af de fænomener, som finder sted på stjernernes overflader og har konstrueret modeller, som beskriver de fleste af de observerede fænomener. Et eksempel på denne type observationer ses på figur 1, hvor Solens ydre atmosfære er observeret ved hjælp af SoHO satellitten. Mens vi således relativt nemt kan få adgang til data fra Solens og stjernernes overflader, er det langt vanskeligere at undersøge forholdene i det indre af stjernerne og Solen.

Seismologi

Når et jordskelv udløses, sendes der jordskelvsbølger rundt i Jordens indre. Ved at benytte de seismografer, der er opstillet overalt på Jorden, kan geologerne registrere bølgerne fra et givet jordskelv. Gennem detaljerede analyser af bølgernes løbetider og ved sammenligninger med teoretiske modeller af Jordens indre er det muligt at bestemme de fysiske forhold langt under vor planets overflade. Skønt vi ikke er i stand til at foretage direkte målinger af Jordens indre, kan seismologiske undersøgelser give endog meget detaljerede oplysninger af forholdene i Jordens kappe og kerne, bl.a. tryk- og temperaturforhold.

For stjernerne og Solens vedkommende gør noget tilsvarende sig gældende. Ved direkte målinger har man kun mulighed for at studere himmelobjekernes overflade, mens man ikke kan foretage målinger af forholdene i stjernernes indre. Imidlertid har man ved brug af computere siden 1960'erne været i stand til at fremstille gode modeller af stjerner. Disse modeller har i de fleste henseender stemt overens med de forhold, man kan observere på stjernernes overflade, som radius og energiproduktionen. Men det store problem er, at man ikke har været i stand til detaljeret at efterprøve disse computer-simulerede modeller af stjernernes indre.

Solskelv

For omkring 30 år siden blev det imidlertid opdaget, at Solen til stadighed udfører svingninger – de såkaldte solsvingninger eller solskelv – der på Solens overflade ses som et kompliceret system af bølger. Det kræver meget fintfølelse måleudstyr overhovedet at

se disse bølger. Men ved at måle på tusindvis af sådanne solskelv lykkedes det – takket være seismologiske metoder – at undersøge Solens indre. Som geologerne har undersøgt Jorden, har astronomerne i løbet af de sidste 20 år opbygget et meget detaljeret billede af forholdene under Solens overflade, forhold som ikke lader sig observere direkte.

Skelv på Solens overflade er blevet studeret meget detaljeret fra såvel Jorden som fra rummet – senest ved brug af SoHO satellitten. Dette arbejde har bl.a. været udført af danske forskere fra Teoretisk Astrofysik Center i Århus (se bl.a. [2] for detaljer). Resultaterne fra disse seismologiske undersøgelser har ført til en revision af forståelsen af Solens indre, hvilket naturligt nok førte til spekulationer om, hvorvidt vor indsigt i forholdene i stjernernes indre er dækkende.

Stjerneskelv?

Derfor har astronomerne i de sidste knap 20 år forsøgt at finde bølger og svingninger (stjerneskelv) på andre stjerner end Solen for her igennem at få mulighed for at foretage detaljerede undersøgelser af stjernernes indre. Men det er ikke så lige til. De periodiske bølgebevægelser, der stammer fra stjerneskelv og solskelv, er næsten umulige at måle. Og selv på Solen, der lyser over 10 milliarder gange kraftigere end den klareste stjerne, kræver det helt specielt udstyr at måle de relativt små bølgebevægelser. Forsøg på at observere stjerneskelv ved direkte måling af stjerneoverfladernes bevægelser er derfor indtil for få år siden mislykkedes. I de seneste år er præcisionen af målingerne dog forbedret så meget, at det har medført et gennembrud i studiet af stjerneskelvene, og vi har derfor nu seismiske målinger af andre stjerner.

Stjernernes svingninger

Målinger på stjerneskelv eller stjernesvingninger er et smukt fysikeksperiment. En stjerne er en kugleformet klode af gas, og den vil i princippet udføre svingninger af forskellig type, hvis disse bliver anslået. Perioderne, eller frekvenserne for disse forskellige svingninger vil afhænge af stjernens tæthed, temperatur, gasbevægelser og andre forhold i det indre af stjernen. Svingningsamplituderne afhænger af eksitationsgraden og dæmpningsprocesserne, hvilket i stjerner af solens type, afhænger af turbulens i de ydre dele af stjernen – turbulens som stammer fra konvektive bevægelser. Sammenhængen mellem de fysiske størrelser og pro-

cesser og stjernesvingningerne er den direkte årsag til, at vi forventer at kunne undersøge stjernernes indre via studiet af svingningerne.

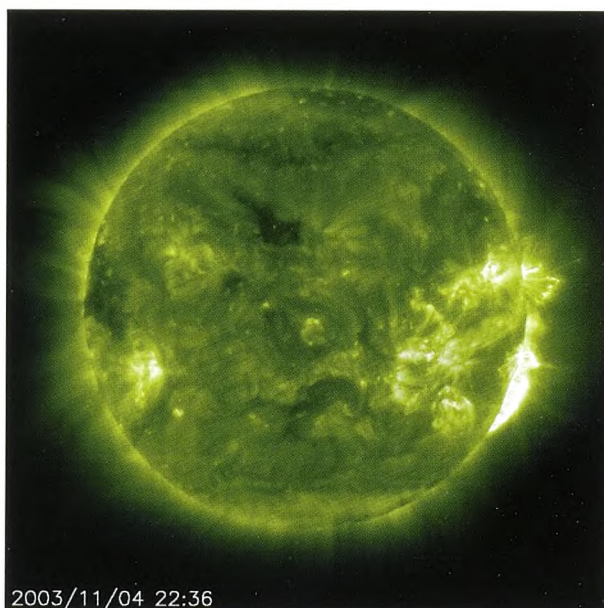
Helioseismologi

Af alle svingende stjerne er Solen den, vi har undersøgt grundigst. Solen svinger i over én million forskellige svingninger på én gang, med perioder på mellem 3 og 15 minutter. Den seismiske undersøgelse af Solen – Helioseismologien – har, som beskrevet ovenfor, resulteret i en revision af vores opfattelse af Solens indre.

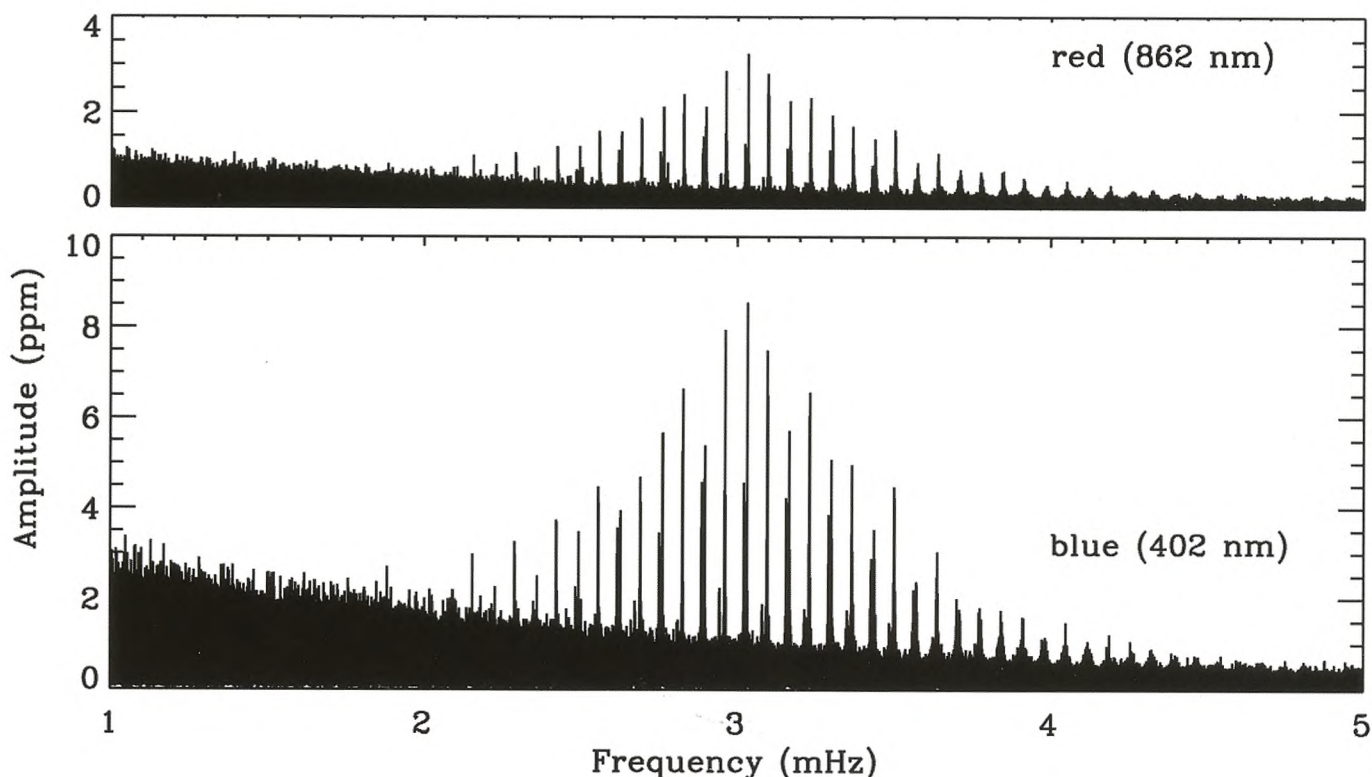
En stor del af de svingninger, vi kender på Solen, udviser en overfladestruktur, som kræver, at vi opløser Solens overflade for at kunne måle svingningsfrekvensen.

Dette kan dog kun lade sig gøre for Solens vedkommende, mens vi for stjernerne – på grund af den store afstand – er henvist til at studere det samlede lys. Svingningerne for det integrerede lys for Solen er vist i figur 2.

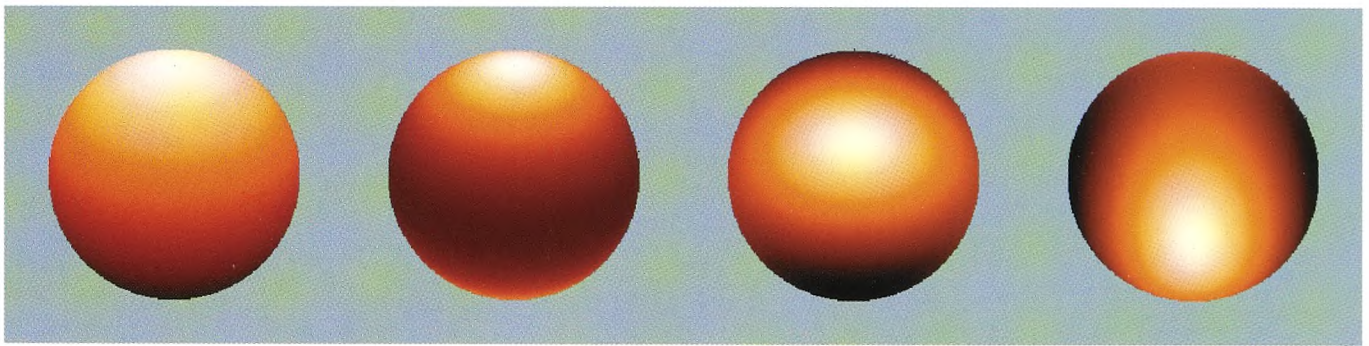
Svingningerne på Solen anslås af de konvektive bevægelser nær Solens overflade, og vi forventer derfor, at alle stjerner med konvektion nær overfladen vil udvise svingninger, som dem vi kender i Solen.



Figur 1. Billede af Solens atmosfære taget fra SoHO (NASA/ESA) satellitten (EIT instrumentet), ved en bølgelængde på 19,5 nm. Lyset stammer fra de nedre dele af Solens varme korona. Billeder fra SoHO kan hentes via SoHO's hjemmeside – se [1].



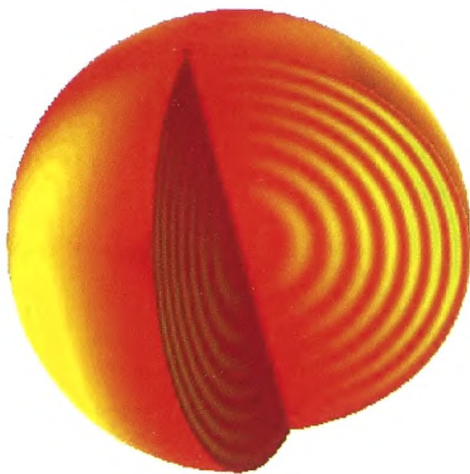
Figur 2. Amplitude spektrum af Solens samlede lys, målt ved hjælp af VIRGO instrumentet på SoHO. Observationerne er i dette tilfælde blevet udglattet og omskaleret for at vise amplitude spektret som det ser ud efter 30 dages observation. De enkelte svingninger ses som toppe oven på en skrå baggrund som stammer fra de konvektive bevægelser på Solens overflade (granulation). De viste data stammer fra [3]. Frekvensen er målt i mHz. 3 mHz svarer til en periode på omkring 5 minutter. Amplituden er målt i rødt og blåt lys og angives i enheder af en milliontedel af lysstyrken (ppm).



Figur 3. Fire forskellige svingningstyper som Solen udfører. Den første har $l=1$ og $m=0$, den anden $l=2$ og $m=0$, den tredje $l=2$ og $m=1$ og den fjerde $l=2$ og $m=2$.

Svingningernes egenskaber

Svingninger som dem vi kender i Solen er stående lydbølger, betegnet p-svingninger (p står for pressure – altså tryk). Hver enkelt af disse svingninger er karakteriseret med 3 talværdier: den radiale orden n , den angulære grad l og azimuthal graden m . n beskriver svingningens karakter i den radiale retning (ind gennem stjernen), mens l og m udtrykker strukturen af svingningen på stjernens overflade. På figur 3 ses en række svingninger med forskellig l og m . Figur 4 viser den radiale struktur af svingningerne.



Figur 4. Svingning med $l=2$, $m=2$ og $n=18$.

Svingninger med $l=0$ trænger dybere ind i stjernen end svingninger med højere l værdier, og derfor er svingninger med lav l værdi ideelle til undersøgelse af stjernernes kerneområder.

Svingningsfrekvenser for p-svingninger med lav angulær grad kan bestemmes med rimelig nøjagtighed ved hjælp af den såkaldte asymptotiske formel:

$$\nu_{n,l} = \Delta\nu(n + \frac{1}{2}l + \epsilon) - l(l+1)D_0. \quad (1)$$

$\Delta\nu$ betegner den såkaldte store frekvensopsplitning og er et mål for stjernens gennemsnits tæthed. D_0 er primært følsom overfor lydhastigheden nær stjernens kerne, mens ϵ er følsom overfor forholdene nær overfladen.

At D_0 er følsom overfor forholdene nær stjernens kerne betyder bl.a., at den kan benyttes til at foretage direkte målinger af den kemiske sammensætning i stjernernes kerneområde, der hvor stjernen fremstiller sin energi. Da stjernerne producerer energi ved langsomt at omdanne brint til helium via fusion, kan en måling af den kemiske sammensætning benyttes til at måle en stjernes alder (hvis stjernen kun har lidt brint tilbage i kernen må den være gammel).

Det er i seismologien normalt at definere et sæt af små frekvensopsplitninger, $\delta\nu_{02}$ og $\delta\nu_{13}$, som angiver afstanden mellem nærtliggende svingninger med $l=0$ og $l=2$ ($\delta\nu_{02}$) og $l=1$ og $l=3$ ($\delta\nu_{13}$). De forskellige frekvensopsplitninger er vist i figur 5.

Hvis den asymptotiske formel var eksakt, betød det, at

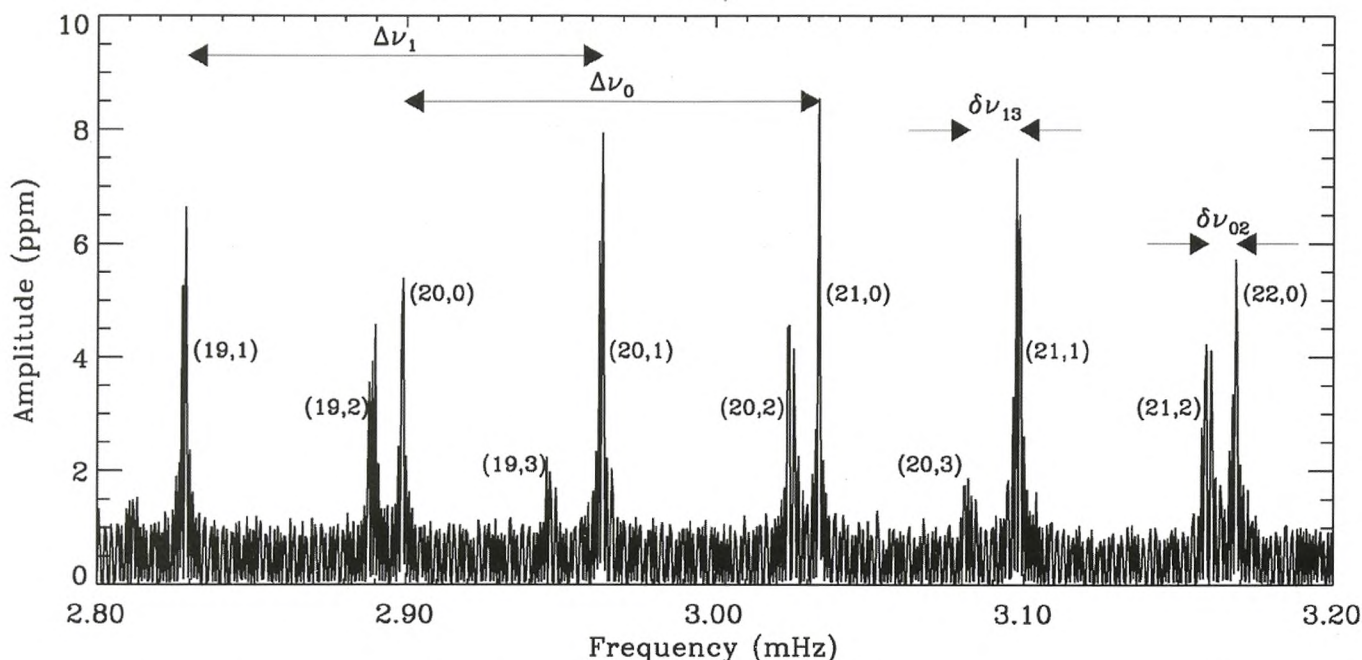
$$D_0 = \frac{1}{6}\delta\nu_{02} = \frac{1}{2}\delta\nu_{01} = \frac{1}{10}\delta\nu_{13} \quad (2)$$

I praksis er der afvigelser fra denne sammenhæng, som er forårsaget af den detaljerede struktur af Solen og stjernerne. Disse afvigelser er derfor centrale for de seismologiske undersøgelser. Det viser sig f.eks., at den store frekvensopsplitning er en funktion af l , og den lille frekvensopsplitning er en funktion af frekvensen.

Observationer af stjernessvingninger

Gennem de seneste 20 år har stjernessvingninger været forsøgt observeret ved brug af flere forskellige observationsteknikker, og præcisionen er gennem årene blevet forbedret betydeligt.

Drømmen om at måle disse svingninger i andre stjerner end i Solen, er dog først blevet til virkelighed



Figur 5. En lille del af Solens amplitudespektrum, som viser (n, l) værdierne for de enkelte svingninger. De store og små frekvensopsplittings er vist. Som beskrevet i teksten kan disse frekvensopsplittings benyttes til bestemmelse af stjernens gennemsnitstæthed og den kemiske sammensætning af kernen – hvilket giver et mål for stjernens alder.

ved hastighedsmålinger fra højopløsnings spektrografer med stabile referencekilder. Siden midten af 1990'erne er der sket en dramatisk forbedring af Doppler hastighedsmålinger i forbindelse med eftersøgningen af planeter omkring andre stjerner.

Asteroseismologien har haft stor gavn af disse forbedringer og i takt med konstruktion af nye observationsfaciliteter (f.eks. UVES spektrografen på VLT) er drømmen efter 20 års forberedelse endelig blevet til virkelighed. Vi kender nu stjernessvingninger i en håndfuld forskellige stjerner. I det følgende vil vi beskrive nogle af resultaterne fra de nyeste undersøgelser. Flere detaljer kan findes i [4].

I Figur 7 ses alle de stjerner hvor vi har sikre målinger af stjernessvingninger. Det ses at de målte svingninger har forskellige perioder, hvilket skyldes at stjernerne har væsentligt forskellig opbygning og tæthed.

I det følgende vil vi se nærmere på stjernen α Centauri A, hvor målepræcisionen er højere end for de øvrige stjerner.

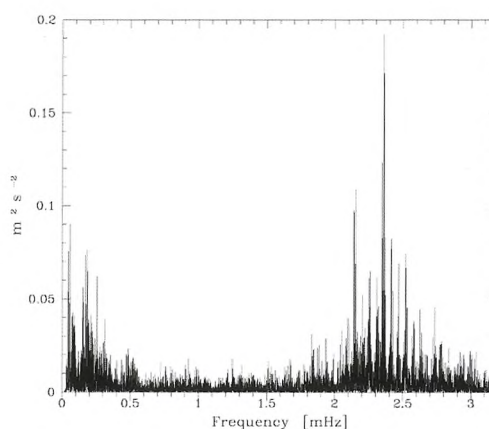
α Centauri A

Stjernen α Centauri er et tredobbelt stjernesystem, hvor hovedstjernen, α Centauri A, er af samme type som Solen. α Centauri A er af den grund et oplagt objekt til en asteroseismisk undersøgelse.

Den første klare observation p-svingninger i α Centauri A blev gjort ved brug af den svejtsiske CORALIE spektrograf på La Silla i Chile (se figur 6 og ref. [5]). I alt 28 forskellige stjernessvingninger blev fundet ved denne første undersøgelse, og det er allerede klart fra disse undersøgelser, at α Centauri A er en stjerne, som

på afgørende punkter er forskellig fra Solen.

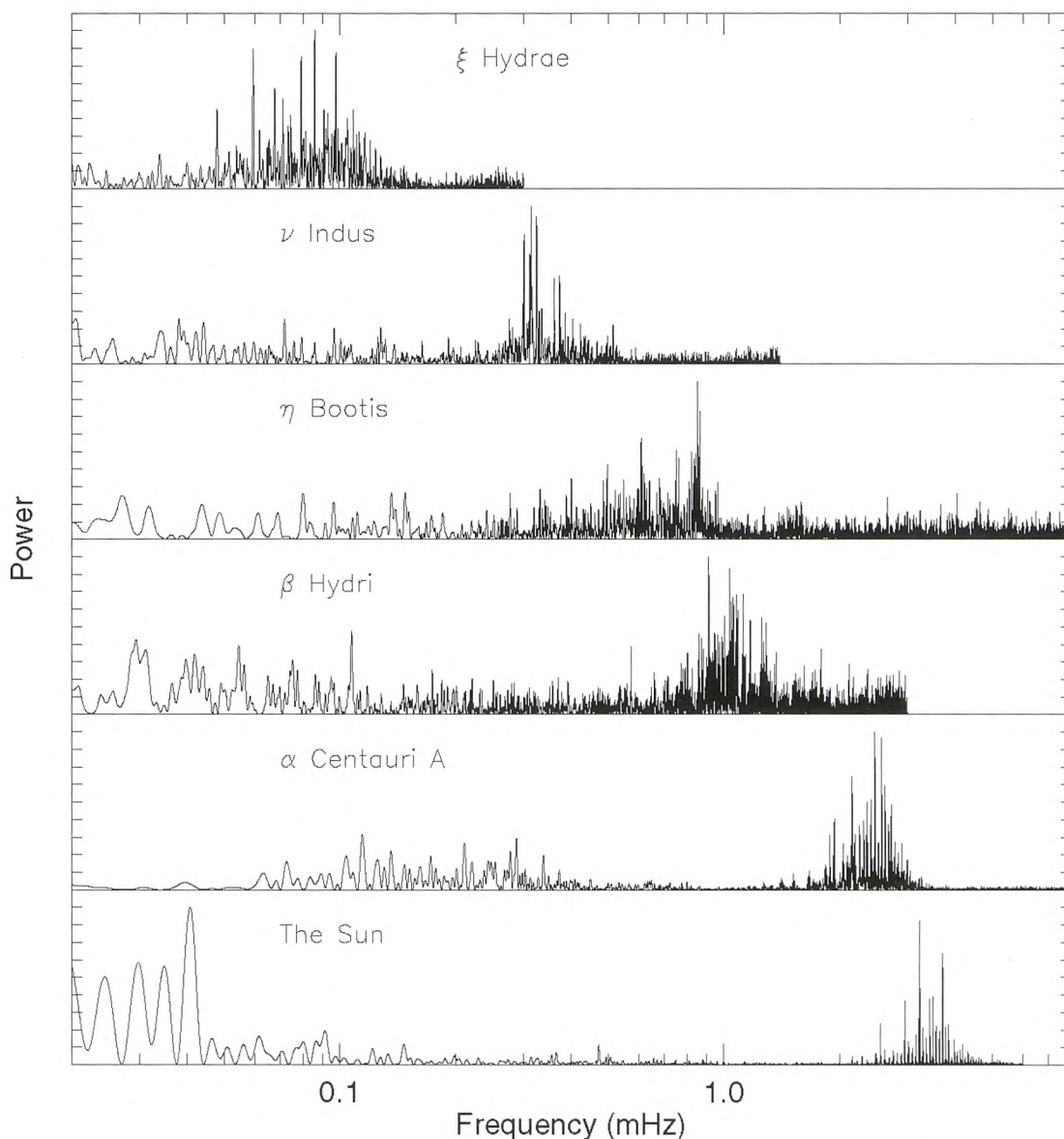
De målte værdier for den store og den lille frekvensopsplitting viser, at α Centauri A har opbrugt en væsentligt større del af sin beholdning af brint, end Solen har.



Figur 6. Power spektrum (energisppektrum) for α Centauri A fra [5].

Over en periode på 5 nætter i maj 2001 observerede vi α Centauri A fra Anglo-Australian Telescope i Australien og fra VLT på Cerro Paranal i Chile. Resultatet af denne undersøgelse er de mest nøjagtige målinger af bevægelserne af nogen stjernes overflade, som endnu er gennemført. Målenøjagtigheden for VLT observationerne er så stor, at vi nemt kan se selve svingningerne blot ud fra vore data.

Et eksempel på svingningerne kan ses i figur 8. Analysen af amplitudespektret fra α Centauri A viser omkring 40 forskellige svingningsfrekvenser, og de



Figur 7. Stjernesvingninger i en serie af forskellige stjerner. Stjernerne er vist således, at stjerner med den største gennemsnitstæthed er nederst (Solen – The Sun), mens stjerner med den laveste gennemsnitstæthed er øverst (ξ Hydrae). Det ses, at alle stjernerne i deres frekvensspektrum viser toppe, som er forårsaget af stående svingninger (p-svingninger). De forskellige stjerner viser svingningsperioder fra timer til minutter. Diagrammet viser svingningsenergien (Power) som funktion af svingningsfrekvensen (målt i mHz).

mindste svingninger, vi kan måle, har en hastighed på omkring 6-7 cm/s (med den hastighed tager det overfladen af α Centauri A 15 sekunder at bevæge sig 1 meter!). Dette er uden sammenligning de mindste stjernesvingninger, som er registreret for nogen anden stjerne end Solen.

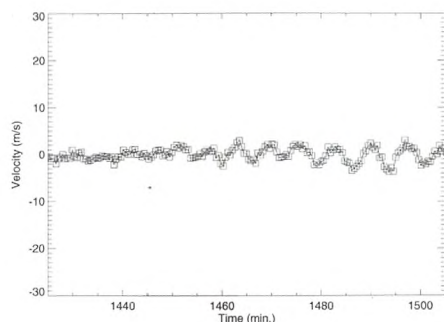
Målingerne af α Centauri A kan på grund af den store nøjagtighed sammenlignes direkte med Solens svingninger. Dette er vist grafisk i figur 11, hvor svingningsenergien for α Centauri A og Solen vises som funktion af svingningsfrekvensen. Figuren viser, at α Centauri A har lidt længere svingningsperioder end Solen, og at frekvensopsplittingerne er mindre for α Centauri A end for Solen. Mens Solen har 0,135 mHz

mellem svingninger med samme l værdi men en forskel på 1 i n værdien, så har α Centauri A en frekvensopsplittning på 0,106 mHz. Dette viser direkte at Solens gennemsnitstæthed er 60 % højere end gennemsnitstætheden for α Centauri A. Flere detaljer om α Centauri A målingerne findes i Ref. [8].

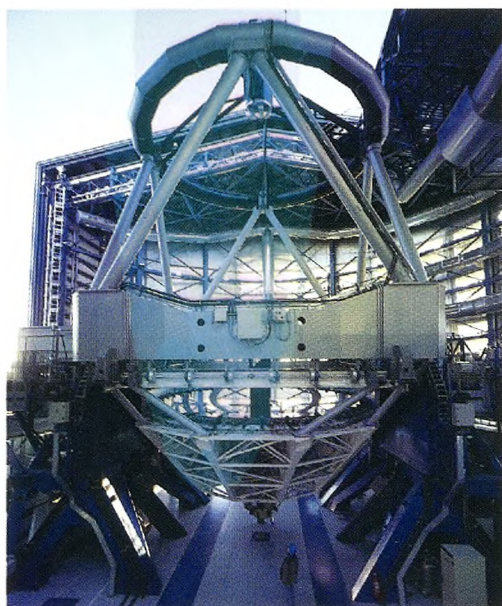
Målinger fra satellit

Foruden måling af stjernernes hastighedsvariationer ved brug af teleskoper som VLT, kan svingningerne observeres ved at undersøge lysstyrkevariationerne af klare stjerner. Fra Jordens overflade er denne type målinger delvist umuliggjort på grund af den atmosfæriske scintillation. Når vi måler på en stjerne fra

Jordens overflade, ser vi lyset gennem Jordens atmosfære. Normalt lægger vi ikke mærke til, at det generer vores muligheder for at se stjernerne, men atmosfæren påvirker faktisk lyset fra stjernerne. Er man ofte ude at kikke stjerner, har man sikkert bemærket, at stjernerne blinker. Og finder man en stjerne, som står lavt over horisonten, vil man også se, at den kan skifte farve.



Figur 8. En 80 minutter lang tidsserie af α Centauri A fra VLT. Hastigheden (Velocity) er angivet i m/s. På figuren ses det samlede signal af 40 stjernesvingninger. Bemærk bl.a. hvordan signalet stiger i intensitet i løbet af de 80 min, et resultat af, at svingninger med lidt forskellig periode går fra at være i modfase til at være i fase (og derfor forstærker hinanden).

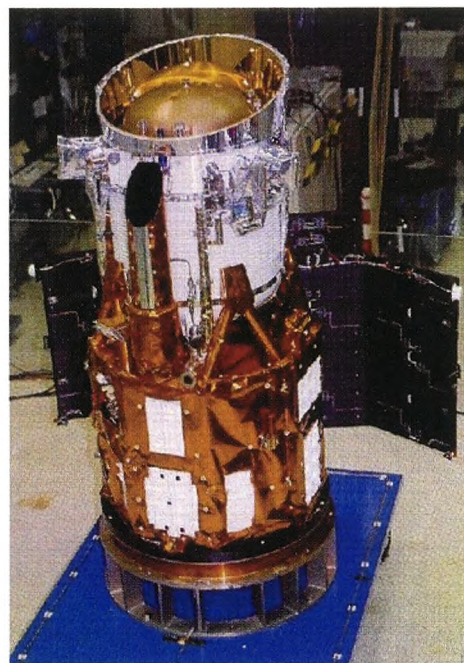


Figur 9. VLT på Cerro Paranal i Chile. Målingerne af α Centauri A er foretaget med dette teleskop. Ved observationerne benyttedes den såkaldte UVES spektrograf. ESO pressebillede – se ref. [6]

Det kendes bl.a. fra stjernen Sirius, som om vinteren står lavt over den sydlige horisont. Men disse effekter skyldes ikke stjernerne. De skyldes, at vi ser stjernerne fra bunden af lufthavet, som omgiver os. Det er lidt som at skulle se stjerner fra bunden af en swimmingpool. Vi kalder denne type stjerneblikken for scintillation.

Lufthavet over os får altså stjernerne til at blinke, men foretages målinger fra satellit, fri af Jordens atmosfære, kan man nå den nødvendige nøjagtighed.

Målinger fra satellit er blevet foretaget fra den amerikanske WIRE satellit, og det har bl.a. resulteret i detektion af svingninger i α Centauri A og i stjernen Arcturus (se figur 12).



Figur 10. Den amerikanske WIRE satellit, som bl.a. har udført målinger af lysstyrkevariationer fra α Centauri A og Arcturus som viser p-svingninger af samme type, som kendes fra Solen

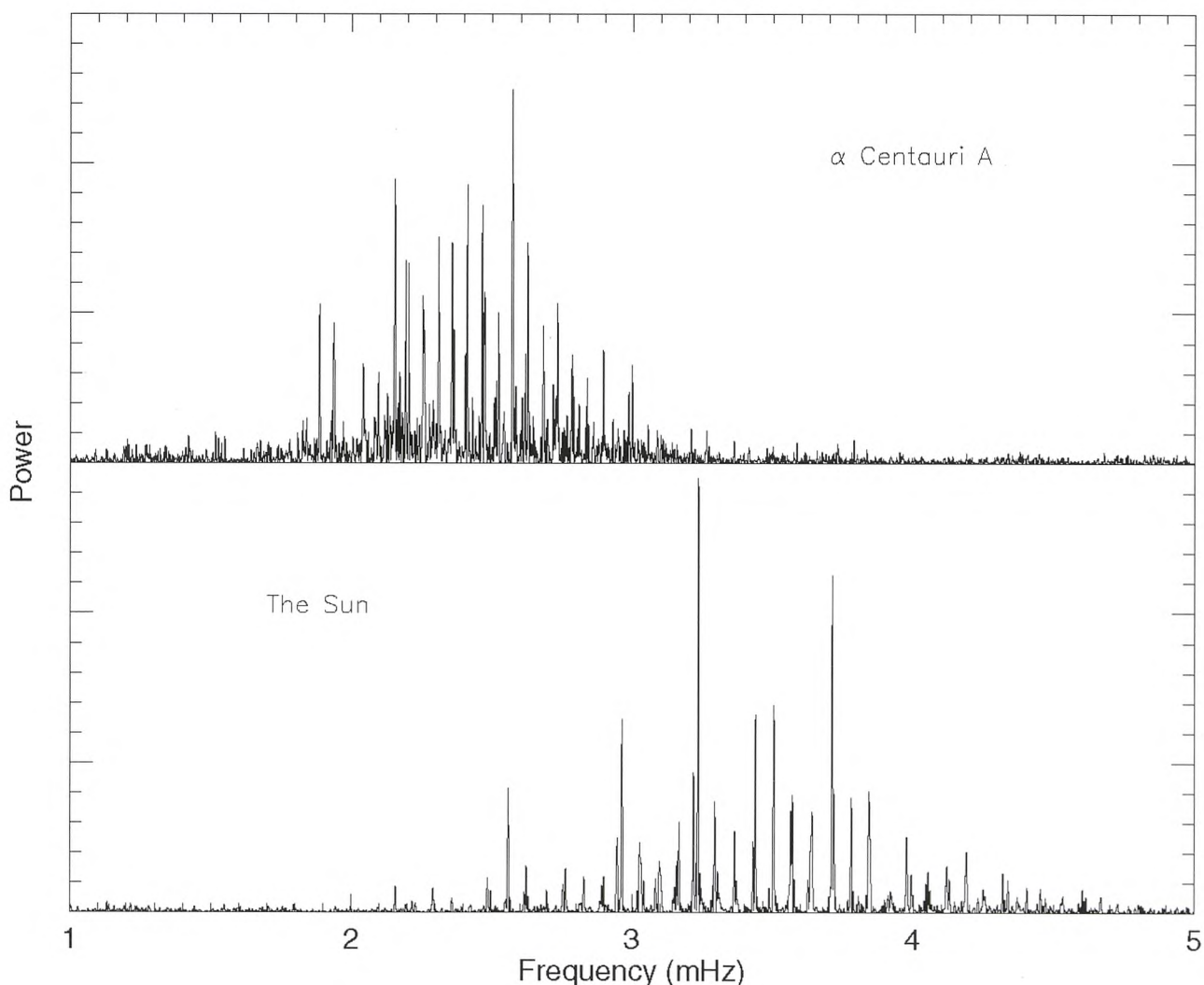
Målingerne for Arcturus viser, at kæmpestjerner (som Arcturus) udviser skælv som dem, vi kender fra Solen, blot er amplituden over 100 gange større, hvilket gør det nemmere at observere dem.

Forventningerne til fremtiden

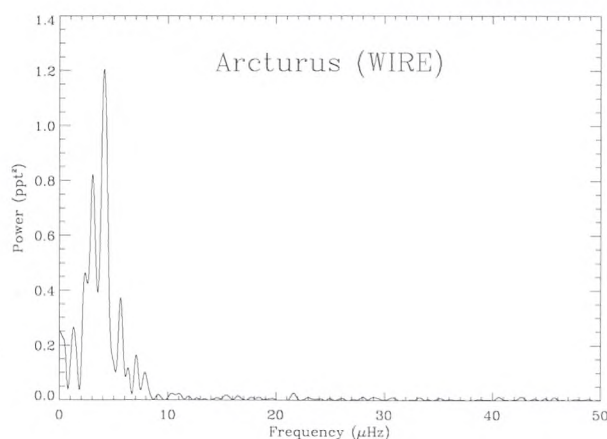
Som beskrevet i nærværende artikel er observationer af stjerneskælv i dag gået fra at være drøm til virkelighed. Vi har foretaget præcise målinger af stjernesvingninger i et antal klare stjerner, og ved brug af svingningsfrekvenserne foretager vi nu asteroseismologiske studier af stjernernes indre.

Fremtiden ligger dog ikke kun i at forbedre de instrumenter, vi har monteret på kikkerterne rundt på Jorden. Vi forventer i løbet af en årrække at blive i stand til at foretage præcise målinger på et stort antal stjerner fra satellitter, som er optimeret til at foretage seismologiske målinger på mange stjerner samtidigt.

For at udnytte og udbygge Danmarks førende status inden for studiet af stjernerne ved brug af asteroseismologi, blev det i 1999 foreslået at bygge en dansk småsatellit med en forventet obsendelse i 2006. Satellitprojektet, som bærer navnet Rømer, var tænkt at skulle gennemføre nøjagtige målinger på ca. 20 af himlens klareste stjerner (se figur 13). Desværre er projektet p.t. ikke blevet fuldstændigt finansieret, og det er derfor højst uklart om Rømer kommer til at flyve i rummet.



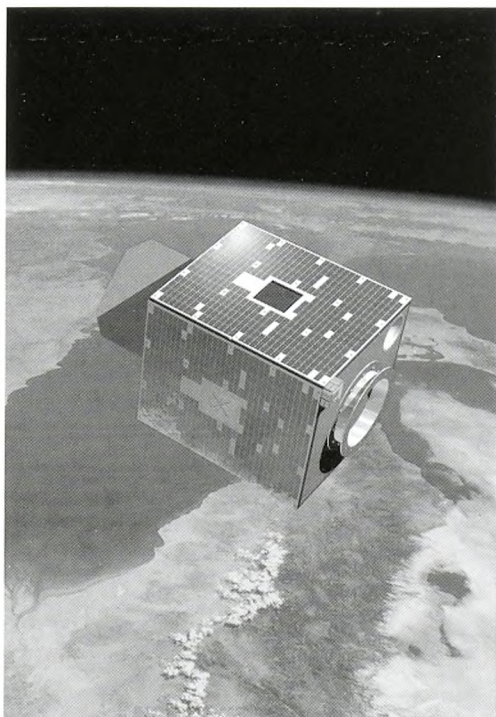
Figur 11. Svingningsenergi som funktion af svingningsfrekvensen for α Centauri A og Solen. Det ses tydeligt, at α Centauri A har lidt længere svingningsperioder, og at afstanden mellem de enkelte svingninger – frekvensopsplittingerne – er mindre for α Centauri A end for Solen



Figur 12. Energispektrum for Arcturus fra WIRE målinger af lysstyrken af denne stjerne. Ref. [7]

Andre projekter er imidlertid på vej. ESA har i en årrække gået med konkrete planer om at bygge en stor satellit bl.a. med det formål at foretage asteroseismiske målinger fra rummet. Satellitten (med navnet EDDINGTON) er dog endnu ikke færdigbygget og der mangler, som for Rømer, finansiering af projektet.

Frankrig er dog langt fremme med konstruktion af en asteroseismisk satellit. Satellitten som bære navnet COROT, skal i begyndelsen af 2006 opsendes i en lav bane omkring Jorden, hvorfra den i perioder af 5 måneder skal følge et mindre antal stjerner og søge efter stjerneskælv på deres overflader. Det er bl.a. målet med COROT at undersøge rotationsforhold og konvektive strømninger i de observerede stjerner. Endelig planlægger USA at benytte satellitten Kepler som opsendes i 2007 til at studere en større antal stjerner med det mål at finde stjerneskælv. Aarhus Universitet deltager i alle de nævnte projekter.



Figur 13. Den danske Rømer satellit, som var planlagt til i 2006 at skulle gennemføre nøjagtige målinger af stjerne-svingninger for ca. 20 af himlens klareste stjerner (her iblandt α Centauri A)



Hans Kjeldsen er forskningslektor ved Teoretisk Astrofysik Center, Aarhus Universitet. Han har primært arbejdet med observationer af stjerneskælv og anvendelse af stjernernes egensvingninger til studiet af stjernernes struktur og udvikling.



Tim Bedding er lektor ved School of Physics, University of Sydney i Australien. Han har arbejdet med stjerneskælv, studeret pulserende kæmpestjerner, undersøgt stjernernes massetab og udført målinger af stjernediametre ved brug af interferometri.

Referencer:

- [1] SoHO: <http://sohowww.nascom.nasa.gov> (NASA/ESA)
- [2] Christensen-Dalsgaard, J., 2002, Rev. Mod. Phys., 74, 1073.
- [3] Fröhlich, C., Andersen, B. N., Appourchaux, T., et al., 1997, Sol. Phys., 170, 1.
- [4] Bedding, T. R., Kjeldsen, H. 2003, PASA review, Publications of the Astronomical Society of Australia, Volume 20, Issue 2, side 203-212.
- [5] Bouchy, F., & Carrier, F., 2002, A&A, 390, 205.
- [6] European Southern Observatory (ESO): <http://www.eso.org>
- [7] Retter, A., Bedding, T. R., Buzasi, D., Kjeldsen, H., & Kiss, L. L., 2003, ApJ, 591, L151
- [8] Butler, P., Bedding, T. R., Kjeldsen, H., et al., 2003, Letter to ApJ, (in press)

PFEIFFER VACUUM

Totalleverandør

VACUUMKOMPONENTER

**Pumpesystemer
Ventiler og fittings
Specialkamre
Massespektrometri**

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

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

Flydevægten – Rømers hydrostatiske målinger

Erling Poulsen, Rundetårn.

Flydevægten (også kaldt hydrometer eller aræometer) er i dag et instrument som mest er benyttet af hjemmebryggere, men tidligere var apparatet meget brugt til massefyldebestemmelser af væsker. Der findes to hovedtyper af instrumentet, mest kendt er den type hvor halsen er påført en skala, så man udfra hvor langt vægten synker ned i væsken kan aflæse dennes massefylde, eller andet der afhænger deraf f.eks. alkoholprocent.

På den anden type er derimod ét mærke på halsen samt en skål oven på flydevægten; når man skal måle en massefylde sænkes vægten ned i væsken, og der lægges et antal lodder på skålen indtil vægten er sunket ned til mærket, man fortrænger altså ved alle målinger samme volumen og man får vha. Arkimedes princip at den relative massefylde (vand sættes til 1) bliver $\rho = 1 + m/m_0$, hvor m er vægten af lodderne i skålen og m_0 er vægten af det tomme instrument. Fahrenheit¹ får mange steder æren for opfindelsen af denne type flydevægt, han beskriver instrumentet som nyt i sin artikel *Aræometri novi descriptio & usus* (En ny flydevægts beskrivelse og brug), men efter at Ole Rømers² notesbog blev genfundet i begyndelsen af dette århundrede, må æren tilskrives ham (i dag er en videreudvikling af instrumentet kendt som *Nicholson's Hydrometer*); Fahrenheit har sikkert set Rømers flydevægt ved sit besøg hos Rømer i 1708, ligesom han ved sit besøg lærte meget om termometerfremstilling³.

Det alvorligste problem ved kalibreringen af den første type er, at det øverste glastrør, hvor skalaen er, skal have nøjagtig samme diameter over det hele hvilket er svært at sikre. Blot den mindste unøjagtighed og instrumentet viser meget galt (hvis man da ikke vil have store problemer med inddelingen i enheder). Fordelen ved rømerinstrumentet er at det altid skal være lige langt nede i væsken og unøjagtigheder derfor ingen rolle spiller. Hvis det så oven i købet lykkes at lave et instrument der nøjagtigt vejer 100 eller 1000 gange så meget som ens standardlodder vil disse kunne bruges og omregning til relativ massefylde består blot i at tælle lodderne. At det netop er det Rømer forsøger, fremgår ne-

denfor, det lykkes dog ikke – instrumentet synker ikke nok, men problemet løses på bekostning af den nemme omregning.

De ældste beretninger om et apparat af denne type stammer fra o. 400 (Hypatia⁴ i Aleksandria), men er tilsyneladende gået i glemmebogen. Den næste gang et apparat nævnes er i Samuel Peppy's dagbog for 9. december 1668⁵ hvor Boyle viser et frem: *and did give me a glass bubble, to try the strength of liquors with.*

Robert Boyle omtaler selv sit apparat i "*New Essay instrument*"⁶, hvor hans artikel egentlig handler om hvordan man let undersøger om en guldmønt er falsk. Men ideen til apparatet har han fra en flydevægt han på et tidligere tidspunkt havde præsenteret, både beskrivelsen af apparatet og den afbildning der er viser at det er af den type der synker mere eller mindre i væsken afhængigt af dennes massefylde, han skriver bl.a. *...But afterwards considering this little Instrument somewhat more attentively, I thought the application of it might easily be as 'twere inverted, and that, whereas 'twas employed but to discover the differing Gravities of several Liquors, by its various degrees of Immersion in them...*

Rømer beskæftigede sig allerede med hydrometre under sit Parisophold, det viser et brev⁷ fra John Locke til Nicolas Toinard (sendt i 1679), her står: *Derfor har det Rømerhydrometer, som de får lavet til mig, alle de egenskaber, som kan gøre en ting højt værdsat.*

Rømers saltlagemåling

Afsnittet⁸ om saltlagers koncentration, handler om, hvorledes man kan måle hvor mange lod⁹ salt per pot¹⁰ vand, der er i en given lage. Rømer anviser et instrument (flydevægt med vægtskål), til at måle saltkoncentrationen, samt en tabel så man ud fra en målt værdi kan finde denne. I afsnittet er tre tabeller, en af de to første er målt, men hvilken?

Den første tabel angiver hvor meget en saltlage vejer i forhold til vægten af samme mængde vand, hvis vægt sættes til 1000. Den kunne være målt ved at afveje 1000 ort vand (knap en pot) i en kolbe og sætte et mærke på

¹Fahrenheit fortæller om sit instrument i "*Philosophical Transactions*", (1724), bind 33, side 140.

²Ole Rømer (1644–1710).

³*Kvant*, 1993, bind 4(3) (september), side 17.

⁴M. Alic (1986) og http://www.maa.org/pubs/Calc_articles/ma055.pdf side 8

⁵<http://www.pepys.info/1668/1668dec.html>

⁶"*Philosophical Transactions*", juni 1675. Billedet er figur 8.

⁷Per Friedrichsen og Chr. Gorm Tortzen (2000). side 587.

⁸Thyra Eibe og Kirstine Meyer (1910) side 7ff.

⁹1 pund = 2 mark = 16 uns = 32 lod = 128 qvint = 512 ort = 1/62 af kubikfodens vandvægt = 499,75g.

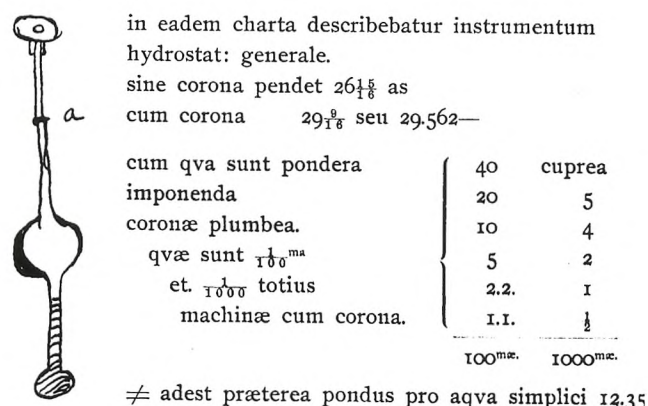
¹⁰1 pot = 1/32 kubikfod = 968,120 cm³.

denne, når så en saltlage med kendt koncentration (lod salt per potte) var blandet, kunne der fyldes op til mærket og mervægten kunne direkte måles med 1/16 ort's nøjagtighed (hans mindste lodder¹¹). Talværdierne er i pæn overensstemmelse med moderne målinger.

Den anden tabel angiver hvor meget ekstravægt, der skal lægges på flydevægten, når den nedsænkes i forskellige saltlager, for at den skal synke til et mærke på den. Tallene er angivet med 0,01 vægtenheds nøjagtighed, og når man tager hensyn til at enheden for overvægten er ca. 0,06 g ($0,01 \times 0,206 \times 29\frac{9}{16}$ g (se senere¹²)) er nøjagtigheden i talangivelserne umulig ved en direkte måling, og en anden forklaring på tabellen må findes.

Vi må altså slutte, at Rømer har målt værdierne i den første tabel, fordi han kunne; den anden tabel er en hjælpetabel der er udregnet, som fører til den sidste tabel, som er den der skal anvendes i praksis.

Efter den første tabel bemærker han, at en saltlages relative massefylde ikke vokser lineært med mængden af salt; der er et par udregninger på grundlag af dette mærkelige forhold samt et forsøg på en forklaring¹³, Rømer forestiller sig at saltet trænger ind i vandets "porer".



Figur 1. Fra Adversaria, der er dog ændret lidt, så det er mere i overensstemmelse med originalen.

sing, bly?, det kan være plumbea betyder forsynet med lukke (plomberet), det ville være hensigtsmæssigt), den bringer den samlede vægt op på $29\frac{9}{16}$ As; de lodder han skal bruge på skålen for at apparatet skal synke i en saltlage har enheden 1/100 af denne vægt. Umiddelbart passer enheden for overvægten ikke med hans almindelige lodder.

Vægten af apparatet er mere forståelig hvis der omregnes til ort (her bruges hans først målte værdi¹⁴, 1 pund = 2425,12 As). Man får at $26\frac{15}{16}$ As = $5\frac{11}{16}$ ort (forskul under 0,01%). Nu tilføjes skålen og den samlede vægt bliver $29\frac{9}{16}$ As = $6\frac{1}{4}$ ort = $\frac{100}{16}$ ort (forskellen er ca. 0,14%); overvægtenheden bliver derved hans mindste lodder på 1/16 ort.



Figur 2. Nyere udgave af samme instrument.

Han opdagede, at apparatet ikke sank nok ned i rent vand, der måtte tilføjes en fast overvægt, således at cirka halvdelen af halsen var dækket, mærket a. Da han havde overvægtlodderne, ændredes de ikke, derimod fandt han den overvægt der skulle til i forhold til ap-

¹¹Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s. 197. Se også Andreas Nissen 1944.

¹²Faktoren 0,206 kommer fra 1 As (Amsterdamcarat), som er lig med 206 mg

¹³Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s. 11.

¹⁴Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s. 197.

paratets vægt; han fandt overvægten til 12,35 enheder. Ved siden af tegningen af flydevægten er en række tal, de kan fortolkes på følgende måde:

En passende overvægt findes til 10" (tommer)¹⁵ af en tråd (kobber?), tråd kan trækkes i meget ensartet og lille diameter; apparatet med skål vejes med samme tråd og den samlede vægt bliver 91" tråd (alle tallene lægges sammen, 2.2. og 1.1. forstås som 2"2 dobb.linier og 1"1 dobb.linie; 1 dobb.linie = 1/6"). Heraf vejer selve maskinen 81" tråd, og hvis 81" skal svare til 100 enheder vil 10" svare til 12,35 enheder. Fortolkningen af tallene er selvfølgelig ikke sikker, men et forsøg; tallene står på en underlig måde, og det er vanskeligt at se at de har anden betydning end at skulle finde overvægten.

Den anden tabel kunne Rømer nu udregne ved hjælp af Arkimedes lov; hvis vi kalder de relative vægte fra tabel et for d , bliver den overvægt der skal lægges på flydevægten:

$$p = 112,35 \times \frac{d - 1000}{1000} \quad (1)$$

heraf fås tabel to, p angives med to decimaler.

Han fandt nu empirisk en sammenhæng mellem p og antal lod salt per pot vand c . Sammenhængen udtrykker Rømer med ord og logaritmer:

$$\log p = \log 1,38 + \left(1 - \frac{1}{20} - \frac{1}{300}\right) \times \log c \quad (2)$$

i dag ville man skrive:

$$p = 1,38 \times c^{(1-1/20-1/300)} \quad (3)$$

Nu kunne han ved interpolation eller udregning finde den sidste tabel i afsnittet, hvor der for heltallige værdier af p (1/16 ort) er angivet, hvor mange lod og kvint salt der er per pot vand i den givne lage. Der er ved siden af tabellen noget "hemmelig" skrift¹⁶, det kunne tyde på, at han ville holde konstruktionen af flydevægten hemmelig, det er måske derfor han tidligere angiver vægten i As.

Rømer har altså, efter at have udtænkt og konstrueret flydevægten, målt den relative vægt af en række saltlager i forhold til vand. På det grundlag *udregner* han en tabel, så apparatet kan bruges til *fremtidige* målinger af saltlagers lødighed.

Andre målinger og slutning

Her ender afsnittet om saltlager med beskrivelsen af nogle andre eksperimenter, hvor han bl.a. bemærker, at

med sukkervand kan fortyndes til den halve koncentration og det svarer til den halve overvægt, i modsætning til det han opdagede ved forsøgene med saltvand. Og Rømer slutter:

Hermed er det påvist

Hvis en pot salt- eller havvand fortyndes med en pot ferskvand giver det ikke to pottes blanding.

At 1 + 1 ikke altid er 2 har åbenbart forundret ham.

Måling af legeringer

Et eksempel på hvordan Rømer tilrettelagde en vejledning i en teknik, så selv ulærde kunne måle vigtige størrelser, kan læses i noterne¹⁷. Det er en beskrivelse af hvordan man på en enkel måde kan finde sammenhængen af legeringer og andre blandinger.

Teorien bag afsnittet er følgende: Lad der være givet c vægtdele af en blanding, der består af stofferne A og B , i blandingen er a vægtdele af A og $c - a$ vægtdele af B . Når blandingen nedsænkes i vand tabes q_c vægtdele i vægt; c vægtdele af A og B taber henholdsvis q_a og q_b vægtdele i vand. Heraf fås legeringens, A 's og B 's relative massefylde (i forhold til vand), de fører til $a/(c - a) = (q_b - q_c)/(q_c - q_a)$ eller $a/c = (q_b - q_c)/(q_b - q_a)$; hvis A er guld er man interesseret i antal vægtenheder A per 24 vægtenheder af legeringen og der fås: Karatvægten = $24 \times (q_b - q_c)/(q_b - q_a)$.

Der gives et eksempel på anvendelsen: 855 vægtdele guld-kobber legeringen taber 55 vægtdele i vand; $855:19$ (massefylde af guld i forhold til vand) = 45; $855:9$ (massefylde af kobber i forhold til vand) = 95; heraf karatvægt = $24 \times (95-55)/(95-45) = 19\frac{1}{5}$ karat.

For at gøre metoden endnu mere let at anvende, division var på den tid meget vanskelig for almindelige mennesker, opstilles en tabel, her regnes med relative massefylde på 19,16, 10,45 og 8,96 for henholdsvis guld, sølv og kobber; vægtmængden af legeringen er sat til 100000. Udfra en enkel måling af vægttabet i vand, samt en viden om hvilke metaller der indgår, kan karatvægten aflæses; der er også anført en tabel så lødigheden (i sekstendedele) kan aflæses i en sølv-kobber legering. Derpå anføres¹⁸ en stor tabel, den kan bruges hvis blandingsmetallet er en legering af sølv og kobber, dog skal man kende forholdet mellem de to; han nævner hvordan dette kan skønnes udfra farven.

Et helt andet sted i noterne¹⁹ tager Rømer problemet op igen, der angives en grafisk metode til bestemmelsen, så udregningsarbejdet yderligere minimeres. Metoden kan også bruges hvis den ene del af blandingen er lettere end vand; der er eksempler hvor bly er blandet med voks og træ²⁰.

¹⁵ 1 fod = 12" = 144 linier = 314,07 mm

¹⁶ Claus Thykier 1989. Det skal bemærkes at der på dette sted står nogle mærkelige gentagelser. Ved undersøgelsen af originalen viste det sig, at kun den øverste "hemmelige" linie er skrevet med samme pen som resten. De to linier nedenunder minder mest om en afskrift (for sjov, øvelse?), de er skrevet med en skrift der ligner nummereringen af folioarkene. Der står "foreskreven brug".

¹⁷ Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s.13ff.

¹⁸ Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s.16.

¹⁹ Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s.198.

²⁰ Thyra Eibe og Kirstine Meyer 1910, s.201.

Referencer:

- [1] M. Alic (1986) "Hypatia's Heritage: A History of Women in Science from Antiquity to the Nineteenth Century", *Women's Press Ltd. (London)*
- [2] <http://www.pepys.info/1668/1668dec.html>
- [3] *Philosophical Transactions*, Juni 1675.
- [4] *Philosophical Transactions*, 1724, bind 33.
- [5] Thyra Eibe og Kirstine Meyer (1910) "Ole Rømers Adversaria". København. Originalen findes på Det kgl. Bibliotek.
- [6] Claus Thykier (red.) (1989) "Ti Rømer Facetter", ISBN 87-983081-1-4, Albertslund.
- [7] Friedrichsen og Tortzen (2000) "Ole Rømer", København.
- [8] Andreas Nissen (1944) "Ole Rømer. Et Mindeskrift", Fr Bagges Kgl. Hofbogtrykkeri, København.



Erling Poulsen er observator ved Rundetårn.

FREJA-dag 12. januar 2004

Tina Christensen, bestyrelsesmedlem, Netværk for Kvinder i Fysik

For fem år siden, under daværende forskningsminister Jytte Hilden, blev der afsat 78 mio. kr. til FREJA (Female Researchers in Joint Action): et specielt forskningsprogram for unge, kvindelige forskere. Formålet med FREJA var at medvirke til at øge antallet af kvindelige forskere, og dermed forbedre udnyttelsen af Danmarks forskerpotentiale. FREJA-projektet skulle opdyrke ny dynamisk forskning på områder med et teknologisk og erhvervsmæssigt sigte, og forskningen gennemføres af forskergrupper ledet af kvindelige forskere. Penge kunne søges til nye forskningsprojekter inden for alle faglige discipliner. Der blev dispenseret således at en kvindelig ansøger kunne foretrækkes i tilfælde af lige kvalifikationer i øvrigt. Der indkom ansøgninger fra 327 forskergrupper, heraf 307 ledet af kvinder. 16 grupper, alle ledet af kvinder, modtog en bevilling.

Nu hvor FREJA-projektets periode udløber har Netværk for Kvinder i Fysik taget initiativ til afholdelse af en temadag om FREJA-projektet for at gøre status og måske puste lidt til debatten om de manglende kvinder i naturvidenskab. Der vil være indlæg fra embedsmænd, politikere og forskere og dagen afsluttes med en paneldebate hvor vi ønsker at diskutere bl.a.:

- Har FREJA-programmet været en succes?
- Er der med dets udløb behov for et nyt tilsvarende program?
- Hvilke forbedringer ville i så fald være relevante?
- Er der kvinder nok i forskning?
- Eksisterer der diskrimination i forskning?

Arrangementet, der er sponsoreret af Dansk Fysisk Selskab og Niels Bohr Institutet, løber af stabelen

mandag d. 12. januar fra kl. 10 til 16 i Alexandersalen på Københavns Universitet, Bispetorvet 1-3.

Tilmeldinger modtages så længe der er ledige pladser af Mia Stampe Lagergaard, e-post: stampe@dsri.dk.

Program

10:00 Registrering og velkomst

10:20 **Jytte Hilden**, tidl. forskningsminister, *Kvinder fejrer FREJA*

10:40 **Anja Boisen**, projektleder, Danmarks Tekniske Universitet, FREJA-modtager, *Fagligt og karrieremæssigt udbytte af FREJA*

11:10 **Nina Smith**, professor, Handelshøjskolen i Århus, FREJA-modtager, *FREJA i økonomisk forskning: Resultater fra forskningscenter CIM*

11:40 Frokost i Munkekælderen

13:00 **Nils O. Andersen**, direktør, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, *Observationer og refleksioner*

13:15 **Leo Bjørnskov**, departementschef, Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, *Evaluering og konsekvenser af FREJA*

13:30 **Anne Grete Holmsgaard**, forsknings- og ligestillingsordfører, SF, *Hvordan kan vi bruge erfaringerne fra FREJA i det politiske arbejde?*

13:45 **Vibeke Abel**, afdelingschef, Ligestillingsministeriet, *Hvorfor skal der være både kvinder og mænd i forskningen?*

14:00 Kaffe og kage

14:20 **Ove Poulsen**, adm. direktør, NKT Research & Innovation, *Debatoplæg*

14:45 **Paneldiskussion**

15:50 Afsluttende bemærkninger

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

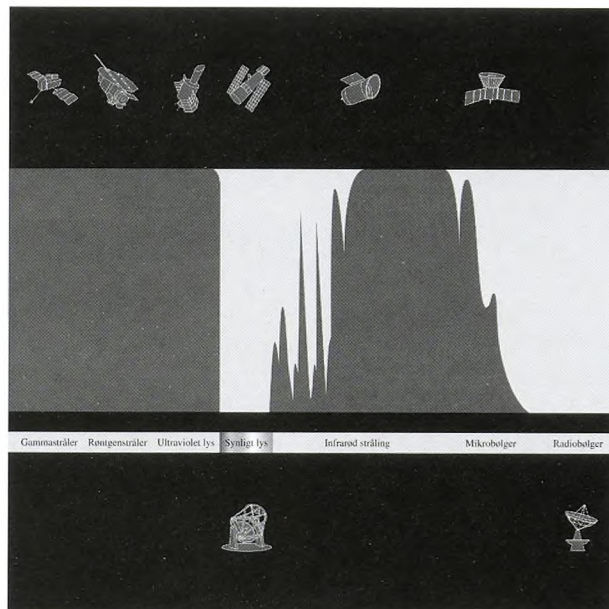
Tlf. 44 95 11 79



Vinduet til Universet

Siden Galileo som den første anvendte en kikkert til at studere himlens vidundere, har astronomerne stadigt forbedret deres værktøjer og opfundet helt nye metoder til at fravriste universet dets hemmeligheder. I dag har gigantiske teleskoper, satellitter, rumsonder og supercomputere udvidet Galileos første beskedne "kikhul" til et helt panoramavindue mod universet. I denne foredragsrække præsenteres nogle af de værktøjer som i dag er kilden til ny viden om himmelrummet.

- Erik Høj:
Det optiske vindue til Universet – astrometri fra satellitter, store teleskoper på Jorden.
2. februar i København og 9. februar i Århus
- Niels Lund:
Astronomi med smæk for skillingen! Astronomi ved høje energier (Røntgen og gamma).
23. februar i København og 1. marts i Århus
- Bjarne Thomsen:
Gravitationsbølge–astronomi.
15. marts i København og 22. marts i Århus
- Michael Linden-Vørnle:
Universets lange bølger – astronomi fra det infrarøde til radio.
19. april i København og 26. april i Århus
- Bertil Dorch:
Computere i astronomi, simulering, visualisering.
10. maj i København og 17. maj i Århus



[Figur af Charlotte Aaen, Tycho Brahe Planetarium]

Foredragene finder sted **kl. 19.15** på adresserne:

København:

Auditoriet, Juliane Maries Vej 30

2100 København Ø

Århus:

Matematisk Institut, Aarhus Universitet

Ny Munkegade, Bygning 530

8000 Århus C

Foredragene afholdes i samarbejde mellem Astronomisk Selskab, Tycho Brahe Planetarium og Folkeuniversitetet. De er tilrettelagt af Michael Linden-Vørnle, Kristian Pedersen, Michael Quaade og Bjarne Thomsen.

Kort om Astronomisk Selskab

Astronomisk Selskab er grundlagt i 1916 og har i dag omkring 800 medlemmer. Alle interesserede kan optages som medlem. Udover Kvant udgiver selskabet medlemsbladet "Knodepunktet", som indeholder amatør astronomisk stof og foreningsstof for alle landets astronomiske foreninger. Herudover kan man abonnere på Aktuelle Meddelelser, evt. via e-mail, og deltage i læsekredsen, hvor udvalgte udenlandske tidsskrifter cirkulerer. Astronomisk Selskab driver Dr. N. P. Wieth-Knudsen Observatoriet i Tisvilde.

Medlemskontingentet er 290 kr om året og 120 kr for unge under 20 år. Kontakt formanden, Michael Quaade, telefon: 3672 3634, e-mail: mq@dsri.dk

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Hjemmeside: www.snu.nbi.dk

Direktionen for SNU udgøres af:

Professor Dorte Olesen (formand)

UNI-C

Vermundsgade 5

2100 København Ø

E-mail: bente.egaa@uni-c.dk

Tlf. 35 87 88 04

Professor Søren Brunak

Direktør, Ph.D. Søren Damgaard

Professor Poul Erik Hansen

Lektor Erik Schou Jensen

Direktør, adjungeret professor Ole Mørk Lauridsen

Lektor Malte Olsen

Lektor Jørn Johs. Christiansen (sekretær)

Aakjærs Alle 24 B

2860 Søborg

Tlf. 39 69 58 18



målrettede virke. Med sin indsats har han på en væsentlig måde fremmet det formål, der lå H. C. Ørsted på sinde ved oprettelsen af Selskabet for Naturlærens Udbredelse: At formidle eksakt naturvidenskab til brede kredse i samfundet. Selskabet vil med denne medaljeuddeling fremhæve, at videnskab er for alle aldre, og at det er vigtigt at skabe gode rammer for unge forskere helt ned i skolealderen", sluttede Dorte Olesen.



En glad Ryan Holm mellem Thor A. Bak og Dorte Olesen.

H. C. Ørsted Medaljen uddelt til ildsjæl bag forskerkonkurrencer

Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU) har besluttet at hædre lærer Ryan Holm fra Holstebro med H. C. Ørsted Medaljen i bronze for hans entusiastiske arbejde med at skabe interesse for forskning hos eleverne i både folkeskolen, ungdomskoler, efterskoler og på handels- og tekniske skoler og i gymnasiet. Ryan Holm, der i årtier har været ildsjælen i Komitéen for Unge Forskeres forskerkonkurrencer, fik officielt medaljen overrakt den 13. oktober på Geologisk Museum i København.

"Ryan Holm har i årenes løb aktiveret mange unge mennesker over hele landet til at interesse sig for forskning og praktisere forskning under deres uddannelser", sagde SNU's formand Dorte Olesen i forbindelse med tildelingen. "Hans arbejde som ankermand i konkurrencerne for folkeskoleelever, elever på handels- og tekniske skoler samt gymnasieelever har altid været udført med stor ihærdighed. Ryan Holm har gennem praktisk motivation og formidling været i stand til at skabe øget interesse blandt de unge for forskning her i landet, og han er aldrig veget tilbage for udfordringerne.

Med tildelingen af H. C. Ørsted Medaljen i bronze ønsker vi at værdsætte Ryan Holms energiske og

Store og Lille Hans Christian

I sin takketale tog Ryan Holm udgangspunkt i H. C. Ørsted, der i 1824 stiftede Selskabet for Naturlærens Udbredelse.

"H. C. Ørsted var et meget alsidigt begavet menneske og vel én af de første, der forstod, hvor fantastiske H. C. Andersens eventyr var. H. C. Andersen og H. C. Ørsted var meget gode venner. Ørsted havde taget sig godt af H. C. Andersen, da han som 14 årig kom til København i 1819. Det var H. C. Andersen, der gav Ørsted kælenavnet "Store Hans Christian" og i denne sammenhæng kaldte sig selv for "Lille Hans Christian". Da H. C. Andersen i 1835 udsendte sin første roman *Improvisatoren* og de tre første eventyr, sagde Ørsted: "Improvisatoren har gjort Dem berømt, eventyrene vil gøre Dem udødelig", og sådan blev det.

Det er blevet sagt: "En stor forsker er den, der får øje noget, som andre først ser, når de bliver gjort opmærksom på det."

Jeg hørte det udtrykt på en lidt anden måde, da jeg for 3 uger siden havde 3 unge danskere med til EUs forskerkonkurrence i Budapest. Her citerede den ungarske præsident en ungarsk nobelprismodtager, der var blevet spurgt om, hvad den største oplevelse i forskerverdenen var. Han svarede: "At se, hvad alle kan se, og ud fra det konkludere noget, som ingen andre nogensinde har tænkt over." Det kunne Ørsted, både i Lille

Hans Christians eventyr og i andre sammenhænge.

1820 var det helt store år for Ørsted. Da opdagede han sammenhængen mellem magnetisme og elektricitet. Det er det alle skolebørn kender Ørsted for, nemlig "Tommelfingerreglen". Det har været sagt, at Ørsted ved en tilfældighed havde ført en strømførende ledning over en kompasnål, der så gav udslag, men det var ikke en tilfældighed. Det var, efter at han i mange år havde ment, at der var en sammenhæng mellem magnetisme og elektricitet. Hvordan sammenhængen kunne påvises, havde han svært ved at komme frem til. Under en forelæsning slog tanken ned i ham. Han blev lidt fraværende, men fortalte forsamlingen om en mulig måde at påvise påstanden på. Forsamlingen provokerede ham til at prøve det. En strømførende ledning førtes hen over en kompasnål, der så bevægede sig. Ørsted turde først gennemføre samme forsøg måneder senere. Der var ingen tvivl. Efter mange flere forsøg turde han den 21. juli 1820 offentliggøre resultatet af sine forsøg. Opdagelsen fik enorm betydning for den teknologiske udvikling. Telegrafene, telefonen, båndoptageren, højttaleren, elektromotoren osv. osv. Alle elektroniske hjælpemidler kommer fra Ørstedes opdagelse.

Meget af det jeg har beskæftiget mig med har været baseret på Ørstedes forskning. Jeg har interesseret mig for teknologi, siden jeg var dreng. Jeg begyndte at bygge radioer da jeg var 12 år. Jeg blev radioamatør, og jeg fik matematisk-naturvidenskabelig studentereksamen i 1957.

Efter studentereksamen var mine fysik- og matematiklærere sikre på, at jeg skulle fortsætte på Polyteknisk Lærestanstalt. Jeg havde mit kemiske laboratorium i kælderen derhjemme og syslede meget med elektronik. Jeg havde også dyrket en del sport og nået så langt med det, at jeg var blevet dansk mester, hvilket betød, at der var bud efter mig som underviser. Det havde jeg stor glæde af, og jeg var derfor i tvivl om, hvorvidt jeg ville være ingeniør eller lærer. Et lærervikariat afgjorde sagen. Jeg gik på seminarier og fik en lærereksamen. Efter at have aftjent værnepligten som dragon kom jeg i gang med at undervise på Sønderlandsskolen i Holstebro. Jeg var heldig at få en del fysik- og matematiktimer, bl.a. en teknisk forberedelsesklasse til fysik med elever samlet fra hele kommunen. De havde ét tilfælles ud over interessen for faget: Gode matematiske færdigheder, men større vanskeligheder ved de sproglige fag. Det var fantastisk med så interesserede elever. Vi fik tildelt mange timer, så det obligatoriske stof kom vi hurtigt igennem, og jeg lavede så selv ekstra undervisningsmaterialer. Jeg var meget bidt af elektronik. Det vidste eleverne, og de bad selv om at lære noget om elektronik. Vi tog så som den første skole i landet faget op. Eleverne var så ivrige, at de arbejdede videre efter skoletid. Der kom andre elever til. De ville også være med. Det blev sat i system under ungdomsskolen, og det betød, at vi kunne få materialerne betalt.

Forskerkonkurrencerne

På det tidspunkt havde Familie-Journalen en konkurrence "Fysikernålen", som man kunne få i bronze, sølv og guld. Vi besluttede at deltage i konkurrencen og sendte et stort antal projekter ind og blev landet bedste skole. Det blev vi også de næste mange år, så helt naturligt blev jeg involveret i arbejdet med Fysikernålen.

Så havde Jyllands-Posten bud efter mig, og i 11 år skrev jeg her om ny teknologi.

På et tidspunkt sluttede Familie-Journalen med Fysikernålen. Det førte for alvor Thor A. Bak og mig sammen, og for 15 år siden lavede vi sammen den første konkurrence for unge forskere og opfindere: JP-Forsker med Jyllands-Posten som hovedsponsor. Der har siden været et forbilledligt samarbejde mellem os med det ene formål: At stimulere og øge interessen for naturvidenskab, miljø og teknik blandt Danmarks ungdom. Det er også vigtigt for os at øge forståelsen for miljø, naturvidenskab og teknikens betydning for vort samfunds udvikling. Jeg er Thor A. Bak megen tak skyldig for det positive samarbejde, som har været meget inspirerende for mig. Konkurrencen blev siden videreført med Ingeniøren som hovedsponsor under navnet Unge Forskere. I 2003 overtog Komiteen for Unge Forskere selv ansvaret for at videreføre konkurrencen.

Det er utrolig vigtigt, at der arbejdes seriøst med naturvidenskab i skolerne. Jo tidligere, man kommer i gang, jo bedre. Da IT kom på læseplanen, var der ingen grænser for, hvad der blev bevilget af ressourcer hertil. Samme interesse har der ikke været alle steder for det forholdsvis nye fag natur/teknik. Det er meget vigtigt, at der sættes fokus på alle områder omkring dette fag, så undervisningen i faget når et acceptabelt niveau. En god start her er nødvendig for, at børnene fastholder interessen for naturvidenskab og i 7.-9. klasse møder åbent til undervisningen i fysik/kemi. Er eleverne ikke blevet stimuleret, eller har man har kvalt den naturlige interesse, er det svært at komme videre i gymnasiet.

Selv om vort skolesystem uddanner meget dygtige unge med stor interesse for naturvidenskab, har vi brug for mange flere. Bortset fra nordsøolien, som vi nu ser ud til at have meget af, har vi ikke andre råstoffer end de unge.

Kirstine Meyers Legat for kvantegravitationsmodeller

Forskningslektor Charlotte Fløe Kristjansen fra Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet, har modtaget Kirstine Meyers Legat for sit pionerarbejde inden for udvikling af kvantegravitationsmodeller. Det er den vanskelige opgave at forene Einsteins almene relativitets teori med kvantemekanikken. Legatet, der gives til naturvidenskabelige forskere, særligt inden for fagene fysik og kemi, uddeles hvert andet år af SNU.

Naturens mindste byggesten

Spekulationer om hvad naturens mindste byggesten består af har foregået i tusinder af år. I dag spørger fysikerne sig selv, om det er partikler eller strenge. Charlotte Fløe Kristjansen har fundet en teoretisk sammenhæng der viser, at det i en vis forstand ikke er nødvendigt at skelne mellem de to begreber. Dermed er forskerne kommet tættere på, end nogensinde før, at realisere en gammel drøm inden for partikelfysikken, nemlig drømmen om at kunne beskrive teorien for de stærke kernekræfter ved hjælp af strenge.



Charlotte Fløe Kristjansen har modtaget Kirstine Meyers Legat for udvikling af kvantegravitationsmodeller.

Universet i ti dimensioner

Siden 1970'erne har forskerne kæmpet med det problem, at strengteorien beskriver universet i ti dimensioner, mens teorien for de stærke kernekræfter har hjemme i vores fire-dimensionale verden, som udover de kendte tre dimensioner har tiden som den fjerde dimension. Med den seneste udvikling inden for strengteori har man forstået, at der i virkeligheden ikke er nogen modstrid mellem disse to beskrivelser af universet. Begge er mulige, hvis man som hjemsted for strengteorien vælger et specielt, krumt ti-dimensionalt rum, der har en fire-dimensionale rand. Ideen er så, at denne fire-dimensionale rand udgør "vores verden", og det vil sige det område, hvor de stærke kernekræfter virker.

Forårets program 2004

Forårets tema er Statistik og sandsynlighed. Det første foredrag holdes **den 26. januar 2004** kl. 19.30 på Geologisk Museum, hvor lektor Flemming Topsøe, Matematisk Institut, Københavns Universitet, taler om "Koder, spil og entropi". Det næste foredrag afholdes samme sted **den 16. februar 2004** kl. 19.30 og handler om "Fiskekvoter". Dette foredrag holdes af fiskerirådgiver Hans Lassen, ICES.

I marts fortsættes med foredrag om "Statistiske sider af fysikken", ved lektor Per Hedegaard, Niels Bohr Institutet, samt "Statistik i miljøsammenhænge" ved videnskabelig datamedarbejder Jørgen Nørrevang Jensen, ICES.

Kupon til bestilling af Kvant

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

Jeg er ☐ under uddannelse ☐ pensionist

Jeg ønsker

- ☐ abonnement på Kvant (135 kr. pr. år)
- ☐ medlemskab af Astronomisk Selskab
- ☐ medlemskab af Dansk Fysisk Selskab
- ☐ medlemskab af Dansk Geofysisk Forening
- ☐ medlemskab af Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Du modtager automatisk Kvant, hvis du er medlem af en af de fire foreninger.



POST

Sendes ufrankeret
Modtageren
betaler portoen

KVANT
Ørsted Laboratoriet
Universitetsparken 5
+++ 1385 +++
2100 København Ø

Fysikkens fremtid?

G. T. Einevoll, Norges landbrukshøgskole, P. B. Lilje, Institutt for teoretisk astrofysikk, Universitetet i Oslo, og C. A. Lütken, Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Fremtidens historikere vil trolig fremheve oppdagelsen av de grunnleggende naturlover som vår tids største kulturelle begivenhet. Men dette betyr ikke at fysikkens gullalder er over. Nye uoppdagede lover venter i alle hjørner av naturen, og fysikkens begreper og metoder sprer seg i dag utover hele vitenskapen.

Analyse

For hundre år siden visste vi ikke hva himmelen var. For hundre år siden visste vi ikke hva atomer var – vi visste ikke en gang om de eksisterte. Og for hundre år siden visste vi slett ikke hva liv var.

Det tok hundre år å plukke verden fra hverandre for å finne ut hva den 'er laget av'. Det overraskende er ikke hvor vanskelig det var, men hvor lett det var. Det tok bare hundre år!

Naturvitenskapens 'analytiske' fase er selvfølgelig ikke over: Vi kommer til å fortsette innover og utover i 'løken' av strukturer, og også i overskuelig fremtid vil det være uimotståelig spennende å utforske nye lag. Men før eller siden vil vi ikke ha råd til å fortsette reisen innover i mikro- og utover i makrokosmos, og den 'analytiske' fasen vil ebbe ut. Det kan til og med tenkes at dette vil skje før Norsk Fysisk Selskap fyller 100 år, i 2053. Er det da slutt på fysikken?

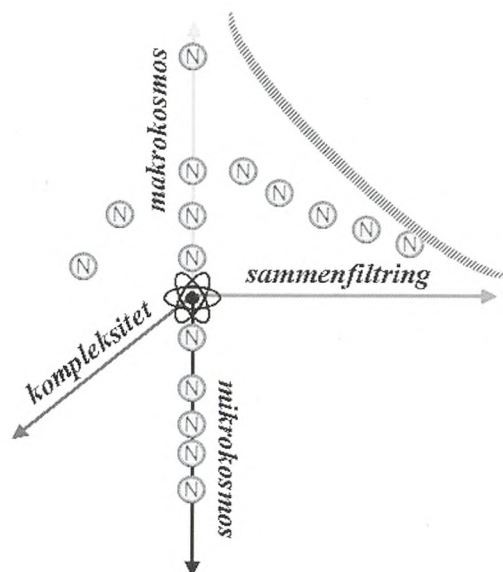
Antagelig har vi allerede oppdaget de fleste mikroskopiske 'naturlover' som gjør at verden har de egenskaper vi kan utforske eksperimentelt. Hva skal vi da med fysikere?

Heldigvis kan ting være 'mer' enn bare summen av sine enkelte bestanddeler. Selv de kjedeligste byggestener kan fremvise forbløffende kollektiv makroskopisk oppførsel. Det venter nye 'naturlover' i alle hjørner av naturen. Denne 'kompleksitetsdimensjonen' av fysikken er vi bare så vidt kommet i gang med å utforske.

I kvantemekanikken kan det også være omvendt: Helheten kan være 'mindre' enn summen av sine bestanddeler. En kvantemekanisk grunntilstand kan glemme sin opprinnelse og fremstå som noe meget enklere og fullstendig annerledes enn sine byggestener, som sies å være 'sammenfiltret'. Denne genuint kvantemekaniske dimensjonen av fysikken er vi bare såvidt kommet i gang med å utforske.

La oss kalle disse nye kollektive fenomenene 'syntetiske', enten de er klassiske eller kvantemekaniske. Vi har nå begynt å sette byggeklossene sammen igjen på nye måter, og vi vil kunne skape myriader av nye systemer som naturen selv aldri har frembragt. Vi kan

syntetisere nye 'designer-univers' med egenskaper som vi selv kan velge. I motsetning til fysikkens 'analytiske' fase som nødvendigvis vil ta slutt når alle relevante bestanddeler er plukket frem, er den syntetiske fasen verken begrenset av ressursmangler eller av nye skalpeller. I prinsippet er kombinatorikken endelig, men for alle praktiske formål har den ikke noen begrensning i det hele tatt når vi har 10^{23} (Avogadros tall) byggeklosser. Så hvis vi skal driste oss til en forutsigelse om fysikkens fremtid, og det skal vi jo for at dette skal bli underholdende, så er den at mens fysikkens første årtusen eller tre var analytiske – så blir de neste syntetiske og kun begrenset av manglende fantasi!



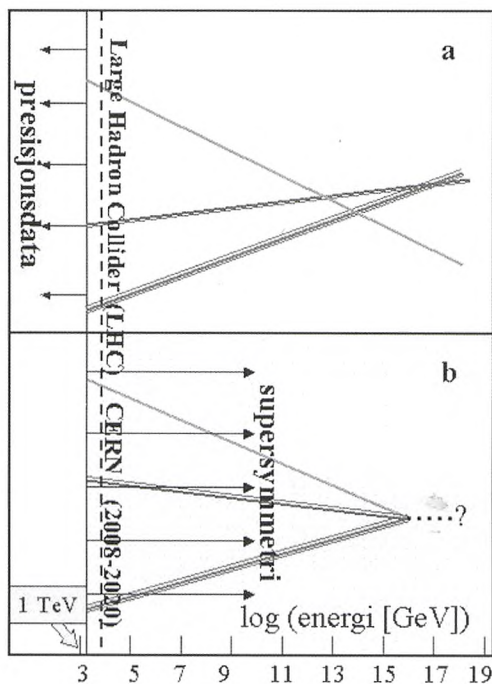
Figur 1. Heuristisk diagram av fysikkens 'handlingsrom', utspent av 'skala'- og 'struktur'-dimensjonene.

Et forsøk på en grafisk representasjon av disse 'analytiske' og 'syntetiske' dimensjonene av naturvitenskapen er vist i figur 1. Den akselererende teknologiske utvikling driver forsknings-'fronten' foran seg og etterlater nobelpriser i sitt kjølvann. Opp mot årtusenskiftet har vi sett at stadig flere nobelpriser er blitt gitt for oppdagelser utenfor den rent reduksjonistiske dimensjonen, som f.eks. kvantekondensater (superledere, kvante-Hall-effekter, Bose-Einstein-kondensater), informasjons-teknologi, astrofysikk og komplekse systemer.

De begrepsrammene vi her opererer med er så romslige at det meste får plass. De burde derfor ikke

være særlig kontroversielle. La oss være litt mer provoserende ved å forsøke å konkretisere bildet. Men dette blir nesten per definisjon en slags statusrapport, i beste fall en lineær ekstrapolasjon av dagens idé-verden, en oppramsing av forutsigbare applikasjoner – et bokholderi av ‘teknologipotensialet’. Dette er det minst opphissende ved fysikk, men det er alt vi kan gjøre.

Naturen vil utvilsomt fortsette å overrumple oss med fenomener som vil kreve helt nye idéer. Det er i disse overraskelsene fysikkens virkelige verdi og fremtid ligger. Det er ingen som kan spå hvilket spor fysikken vil følge, men dersom vi ikke hopper av grunnforskningstoget vil reisen utvilsomt bli spennende, meget mer spennende enn våre fantasiløse ekstrapolasjoner.



Figur 2. Finnes det en urkraft? a) Ikke hvis vi bare har de standardpartiklene som er funnet hittil. b) Sannsynligvis hvis de alle har superpartnere. I strengteori unifiseres også gravitasjon med de andre kreftene.

Mikrokosmos

Mikrofysikken er ikke ferdig i overskuelig fremtid, selv om ‘eksperimentene’ blir så dyre at kun naturen har råd til å utføre dem. Vi vet at verden styres av tre fundamentale krefter ned til de minste bestanddeler og de største avstander vi kan utforske eksperimentelt, men vi vet også at disse teoriene har sin begrensning. Kvanteprosesser ved meget korte avstander, eller i meget sterke gravitasjonsfelt, lar seg ikke håndtere med vanlig teori. Det som for oss fortøner seg som ekstreme situasjoner krever en ny ‘kvantegeometri’. Spesielt interessante eksempler er Big Bang (Skapelsen), og litt mer jordnært, det enorme sorte hullet i sentrum av Melkeveien som sluker stjerner og kanskje til slutt vil sluke hele

galaksen (Purgatorium). Kan hende er universet pepret med sorte hull som i følge klassisk teori ikke kan eksistere da de er ufysiske ‘flenger’ (‘singulariteter’) i tidrommet?

I følge relativitetsteorien er normale tidrom glatte, krumme og elastiske: geometrien er ‘Riemannsk’. I to dimensjoner kan vi tenke oss gummiplak med tunge stjerner oppå som lager dype groper og tvinger satellitter innover. Sorte hull er så tunge og ‘spisse’ at de lager ‘rifter’ i rommet – og hele bildet ‘revner’. Dette er utålelig, så de sorte hullene må være kikkhull inn til en ny fysikk – en kvantegeometri som ‘lapper sammen’ slike skader på Riemannrommet, og derfor sprenger grensene for Einsteins forestillinger. Målet med strengteori er å kurere disse problemene med den hundre år gamle gravitasjonsteorien. Det har langt på vei lyktes. I tillegg viser det seg at strengteori også – ikke helt tilfeldig må vi tro – kan kaste nytt lys over de andre kreftene, såkalt Yang-Mills-teori som også er ren geometri – det som i matematikk kalles vektorbunter og knipper.

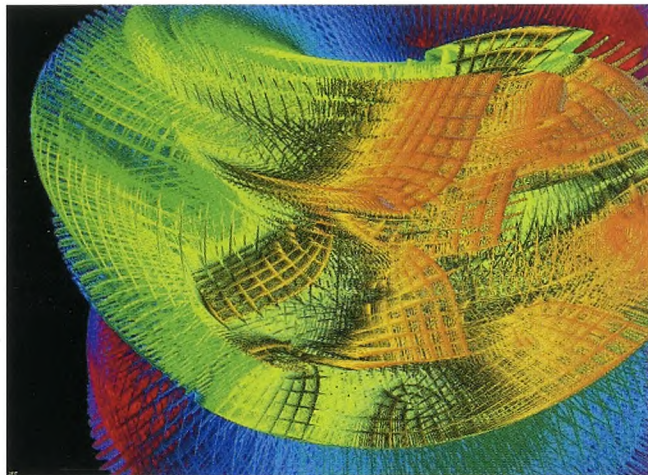
Pr. i dag har vi dessverre ingen direkte bekreftelse av kvantegeometrien, men vi har et forbløffende faktum fra partikkelfysikken som peker i riktig retning. Styrken på de elektrosvake og sterke kreftene som virker mellom kvarker og elektroner, er bestemt av koblingskonstantene, som i en kvanteteori slett ikke er konstanter: de er konstante i tid (så vidt vi vet), men de avhenger av energien til partiklene som ‘kolliderer’ (vekselvirker) – de ‘løper’. Fra pre-LEP-eksperimentene så det ut til at koblingene i Standardmodellen faktisk løper sammen (blir like sterke) ved en meget høy energi, unifiserings-energien (ca. 10^{16} GeV), som ikke er så langt unna det teoretiske Nirvana, Planck energien (ca. 10^{19} GeV) hvor gravitasjonen er like sterk som kjernekreftene. Post-LEP vet vi at dette ikke er tilfellet (se figur 2a). Men hvis verden er supersymmetrisk, med tilhørende justeringer av Standardmodellen ved høye energier, klaffer det likevel (se figur 2b)!

Supersymmetri kan være innen eksperimentell rekkevidde på LHC, monstermaskinen som nå bygges på CERN. Dette er en symmetri som unifiserer materie og krefter, en syntese av kantianske kategorier som vil rangere som en av de største oppdagelser noensinne i fysikk. Og så er poenget at ‘klumper’ (f.eks. ‘strenger’) slett ikke liker å la seg kvantisere, med mindre verden er supersymmetrisk ved tilstrekkelig høye energier.

I mikrofysikken er det bygget inn en ‘syntetisering’ som har vært retningsgivende i mange år. Supersymmetri er den mest spektakulære versjonen av dette programmet som startet med Maxwells unifisering av elektrisitet og magnetisme, men det er ikke den eneste. ‘Grand Unified Theories (GUTs)’ finnes i mange varianter, men alle har til felles at det finnes en stor energiskala som signaliserer mye ny fysikk utover Standardmodellen, i tillegg til Higgs-sektoren som LHC vil oppdage og utforske de neste femten årene.

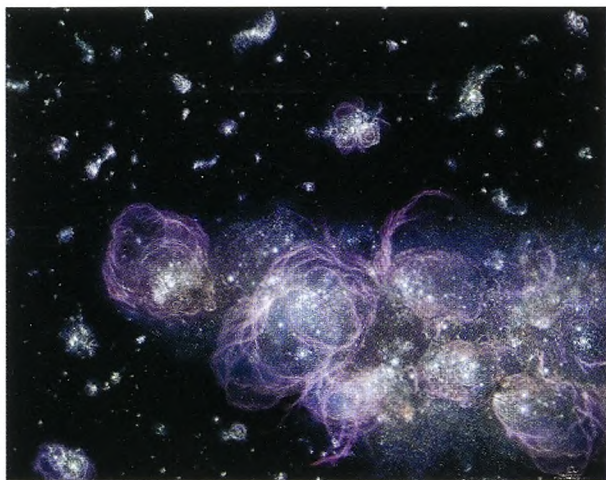
Vi har nylig fått indikasjoner på at slike over-

raskelser ligger på lur. Nøytrinoeksperimenter over hele verden viser at nøytrinoene har meget små men endelige masser, og at to av dem er meget sterkt sammenfiltret. Dette er fotavtrykket av ny og uventet fysikk utover Standardmodellen. Det blir en spennende oppgave å følge disse sporene opp til unifiseringsskalaen hvor naturen nok en gang vil presentere seg i en ny drakt. Etter tretten milliarder år har universet frosset fast i en uryddig og disharmonisk form som vil fordampe ved unifiseringsskalaen. Naturlovene vil der igjen fremstå med sin utilsørte symmetri slik som de ble født inn i verden ved Skapelsen.



Figur 3. Et skjult univers? Calabi-Yau-rom spiller en sentral rolle i moderne matematikk og 10-dimensjonale superstrengteorier (bilde fra www.lactamme.polytechnique.fr).

At nye teorier krever ny matematikk og ny geometri er ikke noe nytt. Klassisk mekanikk opererer med flate, passive og upåvirkelige Euklidske rom. Relativistisk mekanikk opererer med krumme, plastiske Riemannske rom. Kvantemekanikken opererer med Hilbertrom, mens relativistisk kvanteteori for 'klumper' (f.eks. 'strenger') opererer med den nye og ufullendte kvantegeometrien.



Figur 4. Stjernefødsel (maleri av A. Schaller fra www.esa.int).

Historisk har store omveltninger i fysikk vært ledsaget av matematiske gjennombrudd. Akkurat på dette punktet svikter i hvert fall ikke strengteorien: Den er en syntese av mikro- og makrofysikk (partikkel- og gravitasjonsteori) med rykende fersk matematikk. På enkelte områder har fysikere til og med foregrepet (forgrepet seg på?) matematikken.

En uventet bonus er at kvantegeometrien har kastet nytt lys over Gaugeteoriene som beskriver svake og sterke kjernekrefter, og kanskje også mange av de mer interessante faststoffs systemene som vi i dag har begynt å pirke på. Men det regnes som ett av de syv store uløste matematiske problemer å forstå disse teoriene, så her ligger det enorme utfordringer for kommende generasjoner.



Figur 5. Planetinkubator (bilde fra www.esa.int).

Vi både kan og bør fortsette utforskningen av den 'reduksjonistiske' eller 'analytiske' dimensjonen i fysikken, selv om den etter hvert blir mindre terrestrial enn vi kunne ha ønsket. Det vil også de andre 'syntetiske' dimensjonene, som antagelig vil være mest relevante for direkte teknologiske anvendelser, nytte godt av.

Makrokosmos

Vi skal forsøke å ekstrapolere fremover i tid noen trender i dagens astronomi og astrofysikk. Vi vil konsentrere oss om kosmologi, et felt som skulle ha spesiell interesse for alle fysikere, men vi skal til slutt også se kort på et par andre temaer.

Kosmologien har gjennomgått en rivende utvikling fra midten av 1960-årene til i dag. Som vitenskap startet kosmologien med et meget tynt observasjonelt grunnlag, først og fremst Hubbles observasjoner av galaksenes rødforskyvning og dessuten noen meget generelle observasjoner som at det blir mørkt om nat-

ten. Dette hindret ikke en stor mengde teoretiske arbeider som var basert på meget grove antagelser, antagelser som merkelig nok ofte har vist seg å være riktige! Hele det teoretiske grunnlaget for homogene og isotrope (og andre) universmodeller ble lagt allerede i 1920-årene. Fra 1960-årene kom et bedre observasjonelt grunnlag med oppdagelsen av kvasarene (og at det er mange flere av dem ved høy rødforskyvning enn i dag) og overraskende resultater ved tellingen av antall radiogalakser som funksjon av fluks. Begge pekte klart mot et univers som ikke er uforanderlig, men tvert i mot temmelig forskjellig ved en rødforskyvning omkring 1 til 2 fra hvordan universet er i dag. Dette var oppdagelser som pekte fremover mot den enorme utviklingen den astrofysiske kosmologien skulle gjøre og som klart motbeviste Steady-State-modellen for dem som hadde et åpent sinn. Enda viktigere var oppdagelsen av den kosmiske mikrobølgebakgrunnsstrålingen CMB = Cosmic Microwave Background) i 1965. Sammen med de tidligere resultatene som viste et univers i utvikling, ble CMB grunnlaget som overbeviste det overveldende flertall av forskere om at Big-Bang-modellen i hovedtrekk var korrekt.

Fra 1970-årene økte antallet kosmologer hurtig, og disse ble splittet i to grupper: 'reduksjonister' eller 'fysiker-kosmologer', med bakgrunn som høyenergifysikere (enkelte som relativister) som har arbeidet ved fysikk institutter og som har konsentrert seg om det tidlige univers; og 'syntetikere' eller 'astrofysiker-kosmologer', med bakgrunn som astrofysikere/astrofysikere som har arbeidet med utvikling av universets strukturer, og som stort sett har arbeidet ved astronomi/astrofysikk institutter. Selv om de snakker hvert sitt språk, er samarbeidet mellom disse gruppene blitt meget viktig, spesielt de siste 10 årene. Det er klart at initialbetingelsene for modellene for strukturutvikling i det tidlige univers må basere seg på egenskaper ved fundamental fysikk ved høye energier (altså mikrokosmos). Observasjonene av CMB-fluktuasjoner etter 1990, sammen med andre astronomiske observasjoner (bl.a. supernovaer av type Ia ved høy rødforskyvning) har også vist at vi nå er i den epoken der disse effektene er blitt observerbare.

Fysiker-kosmologene har først og fremst interessert seg for det tidlige univers. De ville anvende kjent, og etter hvert mer spekulativ høyenergifysikk, for å si hvordan egenskapene var i universet lenge før epoken for dannelse av atomkjerner, det vil si da universets alder var mye mindre enn ett sekund. Av spesiell interesse er å se om forskjellige fysiske modeller gir opphav til forskjeller i forholdene i universet som gir observerbare konsekvenser også i dag. Viktige spørsmål som er tatt opp av fysiker-kosmologene har vært: Hva skyldes forskjellen mellom antall partikler og antipartikler (grunnen til at universet ikke bare består av stråling)? Har det vært faseoverganger i det tidlige univers, og vil disse ha kunnet forårsake topologiske defekter i tidrommet? En mindre gruppe fysikere som har

arbeidet med kvantegravitasjon og kvantekosmologi, har forsøkt å nærme seg Plancktiden. En av de mest interessante idéene er kommet fra fysiker-kosmologene, idéen om en inflasjonsfase i det meget tidlige univers.

Det har foregått en minst like stor, om ikke større, utvikling i den astrofysiske kosmologien. Her er målet å forstå utviklingen av strukturer i universet. Hvordan har de strukturene vi ser i dag, galakser, galaksehoper og superhoper, og deres fordeling, oppstått og utviklet seg? Mens den 'høyenergifysiske' kosmologien først og fremst utnyttet den aller nyeste og spekulative fysikken temmelig rendyrket, er astrofysikerens metode ofte komplekse anvendelser av kjent kunnskap fra forskjellige deler av fysikken (relativitetsteori, hydrodynamikk, kjernefysikk, strålingsdynamikk etc.). De teoretiske arbeidene i den astrofysiske kosmologien er tett knyttet til observasjonell kosmologi, til studiet av galakser og galaksehoper, kvasarer etc., og til hvordan de er fordelt i tid og rom. Observasjonsmaterialet økte kraftig i tiden fra begynnelsen av 1970-årene, blant annet på grunn av nye observasjonsteknikker.

Fra å være en vitenskap meget fattig på data, er kosmologi nå blitt en vitenskap meget rik på data. Ved de nye CMB-eksperimentene (som nærmer seg eksperimentene ved CERN i antall forskere, og i teknisk og organisasjonsmessig kompleksitet) er den store utfordringen hvordan man skal analysere de enorme datamengdene. Samarbeid mellom astrofysikere, partikkelfysikere, statistikere, matematikere og informatikere viser seg svært fruktbart! Vi ser at de to 'hovedtypene' av kosmologer i dag arbeider tett sammen, spesielt på CMB-eksperimentene.

Fritt etter Martin Rees er i dag vår forståelse av universet basert på følgende postulater, der graden av sikkerhet er i synkende rekkefølge – til og med postulat 3 skal det svært mye til for å rokke på mens de siste er langt mer usikre:

1. Universet utvider seg
2. fra et varmt og tett Big Bang
3. hvor hydrogen og helium ble til.
4. Meget tidlig var det en inflasjonsfase
5. som forårsaket et tilnærmet flatt univers i dag.
6. Opphavet til strukturer er gaussiske irregularteter
7. som ble til på grunn av kvantefluktuasjoner under inflasjonsfasen.
8. Strukturenes dynamikk er dominert av kald mørk ikke-baryonisk materie,
9. men det meste av energitettheten i universet skyldes 'mørk energi' med sterkt negativt trykk.

Hvis alt går slik det ser ut nå, vil vi om ca. 10 år være i den situasjon at vi har bekreftet disse postulatene, og vi har med stor nøyaktighet bestemt de parametrene som er viktige for disse, slike som universets utvidelseshastighet (Hubble-parameteren), tettheten av

baryonisk (ordinær) materie, tettheten av mørk ikke-baryonisk materie, tettheten av 'mørk energi', parametrene som fastsetter hvordan kvantefluktuasjonene under inflasjonsfasen var etc. Hva så? Vil da det meste være løst og det som gjenstår være å rydde opp i noen detaljer.

For det første kan det hende at dette scenariet er galt. Kanskje vil vi meget snart vise at ett eller flere av postulatene over er feil. I så fall står vi overfor en situasjon der vi ikke kan spå annet om fremtiden enn at den vil bli spennende! Men selv om det traurige skulle skje at postulatene bekreftes og parameterene bestemmes med stor presisjon og nøyaktighet, vil vi allikevel ha spennende tider foran oss. Det vi vil ha fastsatt er bare grunnlaget som vi kan arbeide videre med. Enkelte hevder at skillet mellom fysiker-kosmologene (reduksjonistene) og astrofysiker-kosmologene (syntetikerene) igjen vil bli større. Det er tvilsomt, for gruppene er svært avhengige av hverandres resultater, men begge gruppene vil i alle fall stå overfor meget store utfordringer.

Astrofysiker-kosmologene har mye arbeid foran seg for å kunne forstå skikkelig hvordan strukturene i universet har utviklet seg fra det enkle universet vi hadde ved rekombinasjonene, 300 000 år etter Big Bang, til galaksene, stjernene og planetene vi ser i dag. Hvordan og når ble de første stjernene til? Hvordan og når ble materien reionisert av disse første stjernene? Hvordan og når ble de første sorte hullene dannet? Var disse også viktige for å reionisere materien? Og hvor mye betydde alt dette i dannelsen av galaksene? I løpet av de neste 50 år vil vi, ved syntetisk bruk av kjent fysikk, og meget intensiv bruk av regneanlegg til bl.a. numeriske simuleringer, komme meget langt i å besvare disse spørsmålene.

Fysiker-kosmologene vil kanskje i enda større grad kaste seg over det 'ultratidlige' univers og fundamentalfysikk, eksotiske ting som universet før inflasjonsfasen, braner, parallelle universer (multi vers) etc. Noen spørsmål man vil forsøke å besvare er:

- Hva er egentlig den mørke materien? En vei kan være å beregne direkte fra fundamental teori massene og virkningstverrsnittene for de forskjellige supersymmetriske partikler.
- Hva er den fullstendige forklaring på asymmetrien mellom partikler og antipartikler?
- Hva er den detaljerte fysikken bak inflasjonsfasen?
- Hva er den fundamentale forklaringen på den 'mørke energien'?

De observasjonsmessige konsekvensene, og mulighetene for å verifisere teoriene til fundamentalfysiker-kosmologene, vil måtte finnes hos astrofysiker-kosmologene. Samarbeidet er helt vesentlig, og sammen vil de nok i løpet av de neste 50 år i hvert fall ha forstått den mørke materiens, og kanskje også den mørke energiens, natur.

Et annet spennende forskningsfelt i astronomien er dannelsen av stjerner, og spesielt stjerner med planetsystemer. Denne forskningen fikk et stort puff fremover i 1995 med den første sikre deteksjon av en planet i bane omkring en vanlig stjerne. Fra 1995 til i dag er det oppdaget over 100 planeter i bane omkring andre stjerner, og et stort antall nye observasjonsmetoder er utviklet. Størst interesse knytter det seg til den europeiske romorganisasjonen ESAs prosjekt Darwin. En gang etter 2015 vil en flotilje av seks frittflyvende satellitter bruke interferometri til å studere 1000 av de nærmeste stjernene. Denne teknikken gjør det mulig å 'fjerne' lyset fra stjernene, som er omtrent en milliard ganger kraftigere enn lyset fra planetene, slik at man direkte vil kunne observere planeter som Venus, Jorden og Mars ut til en avstand på over 30 lysår. Ikke bare vil man kunne se dem, men man vil også kunne ta spektra av atmosfærene deres, spektra som ville være så gode at man kan detektere vann og oksygen. Med Darwin ville en tenkt observatør 30 lysår unna kunne si at den tredje planeten omkring Solen har tydelige tegn på liv! Hvis Darwin oppdager forholdsvis sikre tegn på liv på planeter omkring andre stjerner, vil det bli en av de største oppdagelsene i de neste 50 år. Skal vi bli litt mer spekulative, må vi også ta i betraktning at mulighetene for å motta signaler fra eventuelt intelligent liv utenfor solsystemet vil øke kraftig de neste 50 årene. Kanskje vi får kontakt?

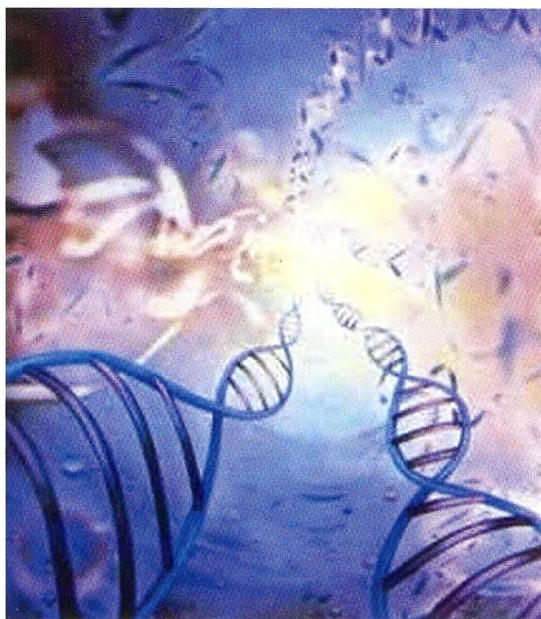
Det siste tiåret har vi innsett at vår plass i solsystemet er mer utsatt enn vi før var klar over. Store meteoritter, asteroider og kometkjerner har større sannsynlighet enn vi før trodde for å treffe Jorden og forårsake store katastrofer, kanskje så store at de kan utsette menneskeheten. Så det er jo ikke sikkert vi kommer til å overleve de neste 50 år! Men vissheten om denne fare har også satt i gang en rekke prosjekter for å kartlegge truslene mer detaljert, og man regner med at over halvparten av alle farlige asteroider alt er kjent. De neste 50 år vil resten bli kartlagt, og man får dermed for første gang muligheten til å gjøre noe med de farene som truer utenfra slik at vi ikke ender opp som dinosaurene.

Kompleksitet

Mange av fysikkens suksesser i det 20. århundret var en konsekvens av en reduksjonistisk arbeidsdoktrine: avgrense, forenkle og måle! Atomets hemmeligheter ble, for eksempel, avdekket på denne måten. Men vi stoppet ikke der. Også sammensatte systemer som metaller, halvledere, gasser og plasma er nå godt forstått, og teoriene er solid forankret i den underliggende atomteorien.

Men naturen rundt oss består av mer kompliserte ting enn som så. De fleste vil kanskje intuitivt si seg enige i at snøfnugg med sine individuelle, unike grenstrukturer, løvetann eller marihøner er mer komplekse enn en gassboks. Men hvorfor? Fra statistisk fysikk har vi lært at en gass med et makroskopisk

antall gassmolekyler (av størrelsesorden 10^{23}) har et uhorvelig stort antall ulike mikrotilstander. I termisk likevekt svarer imidlertid de aller, aller fleste av disse mikrotilstandene til en og samme makrotilstand, den som er beskrevet av den ideelle gasslov. Så lenge vi ikke er interessert i hvor ett bestemt gassmolekyl er, gir den makroskopiske gassloven alt vi har lyst til å vite.

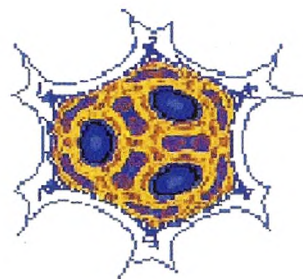


Figur 6. Livet er kodet i DNA.

Komplekse systemer kan defineres som systemer med et stort antall ulike makrotilstander. De forgrenede iskrystallene med heksagonal symmetri som vi kaller snøfnugg, er alle litt forskjellige i formen, dvs. de har alle sin unike makrotilstand og kan kalles komplekse etter denne definisjonen. Kepler spekulerte allerede på 1600-tallet på hvordan et sjelløst objekt som et snøfnugg kunne ha en slik vakker symmetrisk form. I dag vet vi at snøfnugg fødes som ørsmå iskrystaller i en underkjølt blanding av vanddamp og luft, og at den iboende heksagonale krystallsymmetrien til is resulterer i den påfølgende morfologiske ustabiliteten som gir seks nesten identiske armer. Den videre veksten bestemmes av den omgivende luftfuktighet og temperatur, og disse parametrene varierer lite på den typiske lengdeskalaen til et snøfnugg (1 cm). De seks armene vil derfor utvikle seg omtrent likt. Men den detaljerte formen på disse armene vil avhenge av reiseruta gjennom en turbulent atmosfære før de treffer jorden. Siden to turbulente reiseruter aldri vil være helt like, vil alle snøfnugg være litt forskjellige.

Et kjennetegn ved komplekse systemer er at de ved påtrykk drives bort fra den ofte kjedelige likevektstilstanden, dvs. at likevektstilstanden blir ustabil. For snøfnuggene er påtrykket underkjølingen av vanddampen. I et annet tilsynelatende beslektet problem som sprekkvekst, enten det er i metaller eller i jordskjelvsoner, er påtrykket ytre mekaniske krefter. Pro-

blemet er tilsynelatende beslektet fordi det også her opptrer fingerlignende utvekster med sidegrener når sprekkene åpner seg. Men nærmere undersøkelse har vist at likheten kanskje bare er overflattisk, ustabiliteten som driver sprekkveksten synes å være helt annerledes enn i snøfnuggvekst. I det hele tatt er det høyst usikkert om en vil kunne finne et lite antall generelle prinsipper som vil kunne beskrive komplekse systemer. Den makroskopiske oppførselen ser ut til å avhenge for mye av de spesifikke detaljene i hvert enkelt system til at vi kan gruppere dem i et lite antall universalitetsklasser.



Figur 7. En kunstig (matematisk) celle. Kan vi lage liv? (bilde fra www.calresco.org)

Et annet trekk ved fysikken som har hjulpet oss mye, er såkalt skalaseparasjon. I faststoff-fysikken trenger en stort sett ikke bekymre seg om atomkjernene; de opererer på en annen skala (energiskala) og kan ses på som uforanderlige klinkekuler. Tilsvarende trenger en ikke bekymre seg for elektron-fordelingen i gassmolekylene når en beskriver oppdriften til luftskip. I komplekse systemer er det i mindre grad en slik åpenbar skalaseparasjon. Dette eksemplifiseres kanskje best ut fra den store og kanskje mest spennende klassen av komplekse systemer: den biologiske. Løvetann, marihøner og andre planter og dyr er åpenbart komplekse ved at de har et stort antall ulike makrotilstander. Signaturen for alle biologiske systemer er DNA-molekylet, bæreren av arvestoffet. Molekylære, og derved mikroskopiske, endringer i DNA-molekylet kan føre til store makroskopiske endringer som annen øyefarge eller alvorlig sykdom, dvs. de mikroskopiske og makroskopiske nivåene er sterkt koblet.

Biologien tiltrekker seg i disse dager et stort antall forskere fra de kvantitative fagene, blant annet fysikk. Av de store spørsmål man arbeider med er

- hvordan liv oppstod,
- hvordan et DNA-molekyl kan kode for hvordan et dyr eller en plante ser ut og fungerer, og –
- hvordan man tenker.

Det siste spørsmålet om funksjonen til hjernen, kanskje det mest kompliserte system vi kjenner i universet, er forunderlig nok det temaet hvor fysikkens metoder så langt har hatt størst suksess.

En matematisk modell for signalbehandlings egenskapene til en enkelt nervecelle er i dag godt etablert.

Modellen er basert på en elektrisk ekvivalensrets av cellemembranens elektriske egenskaper, og ser nesten kjedelig ut. 'Livet' kommer kun inn i modellen ved at ionepumper, som krever kjemisk energi i form av ATP, setter opp ionekonsentrasjoner over cellemembranen som igjen driver nervecellekretsen. Den store utfordringen i dag er å forstå hvordan mentale funksjoner kan oppstå i et nettverk av nerveceller. Langt borte i horisonten kan vi også skimte spørsmålet om hvordan den subjektive oppfattelsen av bevissthet oppstår, men dit er det langt.

Hjernen er designet mer omtrentlig enn datamaskiner. I en datamaskin er det elektroniske kretsdiagrammet spesifisert i detalj av konstruktøren. I biologien er det annerledes. Et menneske har omtrent 10^{11} nerveceller, og nervecellene har omtrent 10^{14} koblinger seg i mellom.

En tabellarisk beskrivelse av kretsdiagrammet i nervesystemet ville kreve mer enn 10^{15} bits. Men menneskets arvestoff inneholder mindre en 10^{10} bits. Så DNA-molekylene kan ikke inneholde en detaljert beskrivelse av hver enkelt kobling. I stedet må de gi en mer omtrentlig arbeidsplan for hvordan hjernen skal lages. Dette gjenspeiles i at to hjerner aldri er helt like. På den annen side avhenger ikke funksjonaliteten til hjernen av at alle nerveceller fungerer perfekt. De fleste av oss er i stand til å klø oss i hodet, men nervecellekretsene i hjernene våre som sørger for dette er ikke identiske.



Figur 8. Fotografi av en nervecelle. Sjelen bor i nervesystemet, og fysikk kan bidra til å forstå boligen. Men hva er forholdet mellom ånd og materie?

Komplekse systemer vil ha mange interessante spørsmål å by på for fysikere som er interessert. Men de som håper på å slippe å sette seg inn i systemdetaljene og kun jobbe med overordnede prinsipper, vil kanskje bli skuffet. Det spørres om vår tidligere suksess med å beskrive usedvanlig mye natur ut fra et lite antall grunnleggende prinsipper vil kunne overføres. For komplekse systemer må en trolig i større grad sette seg inn i detaljene for hvert enkelt problem. Dette blir mer arbeid selvfølgelig; men må man, så må man.

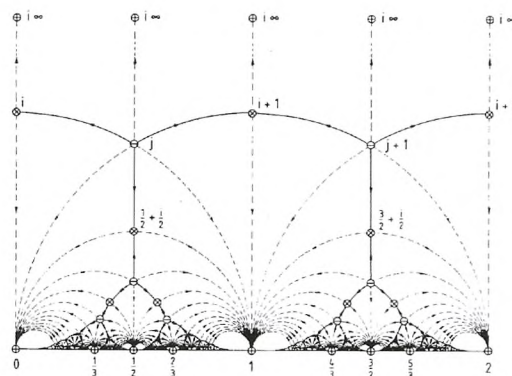
Men et enda mer grunnleggende spørsmål som også kan appellere til 'prinsippytterne' er hvorfor kom-

plekse system oppstår i det hele tatt. Etter Big Bang oppstod etter hvert galakser, solsystemer, vår egen jord og til slutt liv. Hvorfor er ikke jorden bare en kjedelig samling av atomer, men i stedet et mangfoldig sted fylt med spennende komplekse systemer langt utenfor den kjedelige likevekten?

Sammenfiltrering

Kvantemekanikken er kronjuvelen i fysikernes skaperverk, og trolig det mest subtile vitenskapen har produsert. Likevel har teorien hatt stor teknologisk betydning, eksemplifisert ved den pågående data- og kommunikasjonsrevolusjonen. Dagens elektroniske 'mirakler' er trolig kun forløpere for en erkjennelsesmessig og teknologisk revolusjon som bare såvidt har begynt. Vi har ennå ikke klart å utnytte potensialet i oppdagelsen av at verden er *sammenfiltret*. Det er en mannsalder siden Schrödinger innså at 'sammenfiltreringen' ('verschränkung', 'entanglement') av tilstander er essensen av kvantemekanikk. Artikkelen fra 1935 (og ideen) er udødeliggjort av et lite avsnitt som omhandler helsen til en katt. Men det er først de siste årene fysikere har begynt å betrakte dette som en potensiell ressurs, spesielt for informasjonsbehandling.

Kvanteinformasjon, -kommunikasjon og -kalkulasjon (KVIKK), ofte kalt 'kvante-computing', er basert på det faktum at all informasjon er fysisk, og at mulighetene for informasjonsbehandling derfor er fullstendig bestemt av de fysiske lover som materien er underlagt. Bytter vi ut klassisk mekanikk med kvantemekanikk bytter vi også ut Shannons klassiske teoremer om databehandling med nye, til dels ukjente muligheter. Fordi den kvantemekaniske verden er sammenfiltret kan korrelasjonene mellom bestanddelene være mye sterkere enn i klassiske systemer. Et kvantefysisk system kan derfor 'parallellprosessere' (beregne samtidig) alle mulige utfall av en algoritme (alle mulige verdier av en funksjon). For eksempel kan primtallsfaktorisering med en kvanteprosessor utføres eksponentielt raskere enn på en klassisk regnemaskin, i prinsippet. Men ingen slik maskin eksisterer ennå.



Figur 9. Et fraktalt hierarki av 'designer-univers' kan konstrueres i moderne halvledere der elektronene tvinges ned i et plan hvor de blir sterkt 'sammenfiltret'.

For fysikere er det ikke bare realiseringen av gamle tankeeksperimenter som gjør KVIKK-aktivitetene spennende; vi tvinges også dypere inn i kvantemekanikken. Kryssbefruktingen mellom informasjonsteknologi, informasjonsteori og kvantefysikk produserer nye begreper som fysikere bruker for å analysere de sterkt sammenfildrede grunntilstandene som dukker opp overalt i kvantefysikken. Vi kan i dag nærmest skreddersy nye materialer, som ved passende valg av geometri og sammensetning for alle praktiske formål kan ha mindre enn tre dimensjoner (to, en og null).



The Mathematical Instrument Maker.

Figur 10. Et vitenskapelig instrument er åndens seier over materien: en sublim syntese av matematikk, fysikk og teknologi som flytter erkjennelsens grenser (graving funnet på antikvariat i Genève – ukjent opprinnelse).

I lave dimensjoner blir frihetsgradene mer sammenfildret, og uendelige hierarkier av nye 'vakuum-tilstander' er mulige, med tilhørende 'elementærpartikler', f.eks. såkalte 'anyoner'. Disse systemene er derfor flotte laboratorier for å rendyrke 'quantum weirdness'. Slike 'meta-univers' ('univers av universer') kan ha sine egne 'meta-symmetrier' hvor de forskjellige 'universene' speiles i hverandre under 'dualitetstransformasjoner' (se figur 9). Disse symmetriene ble opprinnelig oppdaget i matematikken for elliptiske kurver ('smultringer') i kjølvannet av Abels dype innsikter i algebraisk geometri. Idéene er hentet

fra strengteori – et godt eksempel på naturens parsimoniske natur; en god mekanisme kan resirkuleres på mange forskjellige områder, selv om systemene er adskilt med over 20 dekaner i energi.

Et mer konvensjonelt eksempel er 'spontane symmetribrudd' som gir fotonet masse i superledere (som derfor blir ugjennomtrengelige for magnetfelt), og som gir masser til W- og Z-bosonene i Standardmodellen slik at vi bare har én type lys.

Slike kryssbefruktinger mellom høy- og lav energifysikk har spilt, og spiller fortsatt, en viktig rolle i fysikk, og vitner om fagets innebygde enhet og harmoni.

Syntese

Symbiosen mellom matematikk, fysikk og teknologi er ikke ny, og går i hvert fall tilbake til Arkimedes. Det nye er at informasjonsteknologien åpner for å utvide denne syntesen til hele naturvitenskapen. Grenser kan viskes ut, og informasjon kan flyte fritt mellom fagfelt som tidligere var isolert.

Å forstå naturen er en stor jobb. Det ble tidlig klart at det er hensiktsmessig å dele jobben opp i mindre deler som siden ble delt igjen og igjen. Denne arbeidsdelingen har båret saftige frukter. I vår del av verden nyter vi i dag en helse og velstand som planeten aldri tidligere har sett. Dette er en direkte følge av den analytiske, reduktive tilnærming til naturfilosofien.

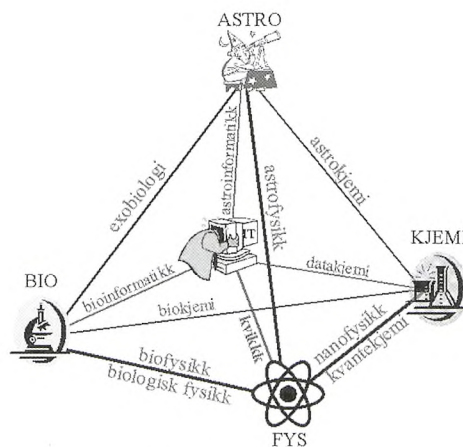


Fig. 11 Informasjonsteknologien kryssbefruktet de klassiske sub-disipliner, sprenger gamle grenser og syntetiserer naturvitenskapen (kvikk = kvante-informasjon, kommunikasjon, kalkulasjon og kompleksitet).

I dag står vi antagelig foran et vendepunkt i naturvitenskapens utvikling, en overgang fra den pre-digitale analytiske til den post-digitale syntetiske fasen. Den plutselige utbredelsen av maskiner som kan utføre enhver (klassisk) beregning, har store konsekvenser for vitenskapen. Det mest interessante er ikke de nye svarene vi vil få på gamle spørsmål, men de kvalitativt nye spørsmål som vi nå kan stille.

Fysikken, selve fundamentet for denne teknologiske

utvikling, er den eldste og mest modne av naturfagene. Fysikken har en konsistens og koherens i sitt begrepsapparat og sine metoder som alle misunner oss, og mange forsøker å etterligne. Men det er ikke uten videre gitt at våre analytiske metoder lar seg eksportere til andre deler av naturvitenskapen. Tvert imot, når fysikken nå vender seg mot mer og mer komplekse systemer, ser vi også det motsatte: Vi må benytte modeller og metoder som ikke er så ryddige som vi er vant til. Disse nye 'syntetiske' metodene, muliggjort av informasjonsteknologien, bryter ned de gamle grensene mellom naturfagene. Evnen til å syntetisere informasjon på nye måter gir oss nye teknologier og ny innsikt i naturen.

Så – hva er fysikkens fremtid og skjebne? Vi tror dagens fysikk nærmer seg slutten på 'puppe-stadiet'. Informasjonsteknologien vil katalysere en metamorfose av det vi kaller fysikk og fysiske metoder til et høyere stadium som integrerer dagens mange naturfag i en sømløs og fargerik helhet: en 'kunnskapens sommerfugl'.

Referencer:

- [1] <http://www.fysikknett.no>
- [2] V. L. Fitch, D. R. Marlow and M. E. Dementi (eds): "Critical Problems in Physics" (Princeton Series in Physics) *Princeton University Press* (1997).
- [3] <http://www.ParticleAdventure.org>
- [4] <http://www.UniverseAdventure.org>
- [5] <http://www.cpepweb.org>
- [6] <http://particleadventure.org/particleadventure/other/othersites.html>
- [7] <http://www.nasa.gov>
- [8] <http://www.esa.int>

Artiklen er oprindelig trykt i tidsskriftet "Fra Fysikkens Verden" (nr. 2/3 2003) i forbindelse med Norsk Fysisk Selskabs 50 års jubiläum.



Gaute T. Einevoll er professor i fysikk ved Norges landbrukshøgskole. Han har sin faglige bakgrunn fra teoretisk faststoff fysikk, men har de siste årene dreid forskningsaktiviteten mot biologiske nevralt nettverk. Einevoll er for tiden styreleder ved Nordisk institutt for teoretisk fysikk (NORDITA) i København.



Per B. Lilje er professor ved Institutt for teoretisk astrofysikk, Universitetet i Oslo. Hans hovedinteresser er innen teoretisk og observasjonell kosmologi og ekstragalaktisk astronomi. Lilje er co-investigator for LFI-instrumentet på ESAs romobservatorium Planck, og leder den norske deltagelsen i Planck.

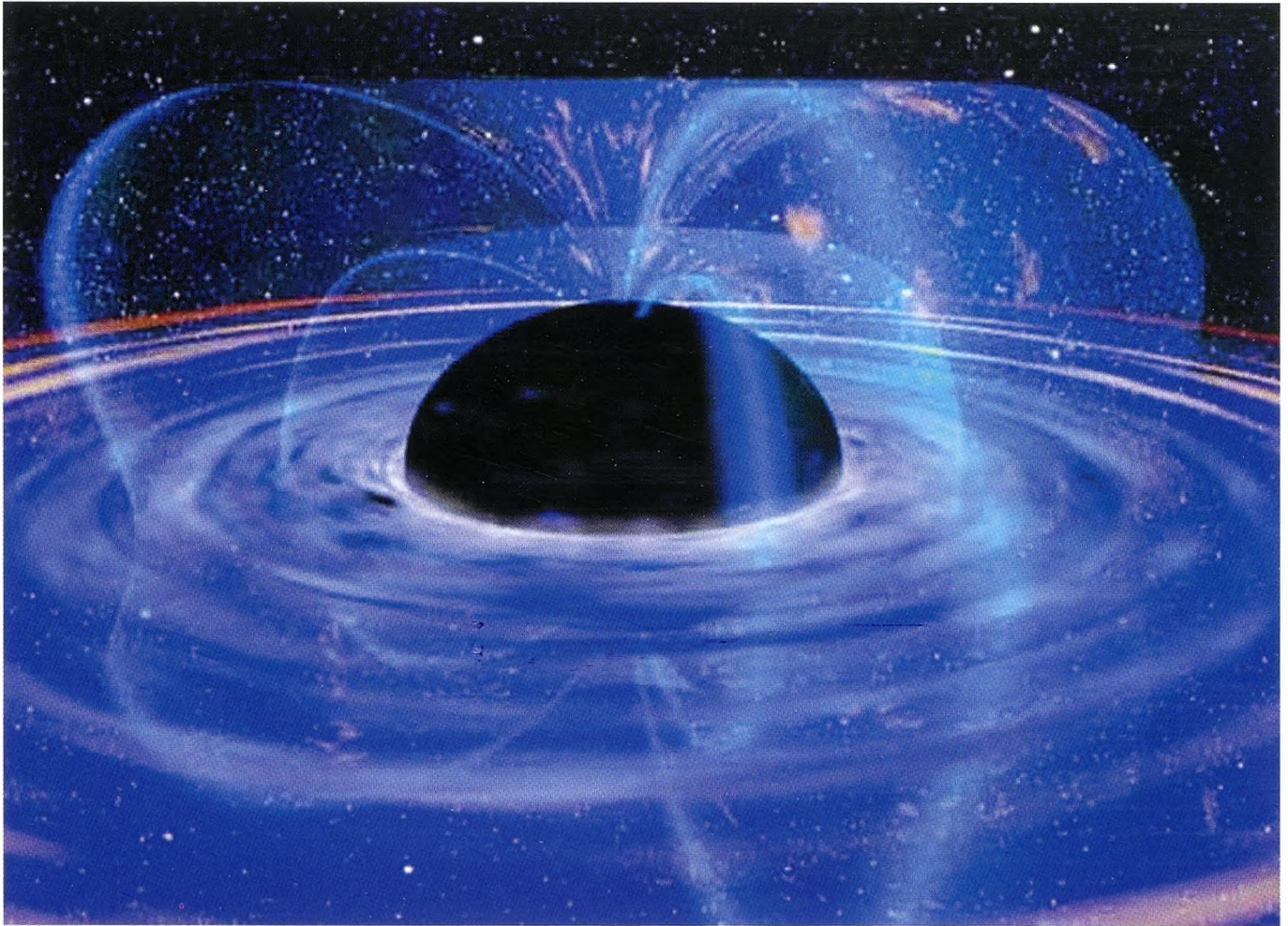


Carsten A. Lütken er professor i teoretisk fysikk ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo. Han arbeider med kvantefelt- og strengteori, kvante-Hall effekten og høy-temperatur superledning. Lütken er styremedlem ved Nordisk institutt for teoretisk fysikk (NORDITA) i København.

Dansk Fysisk Selskabs årsmøde 2004

Dansk Fysisk Selskabs årsmøde afholdes den 27.-28. maj 2004 på Hotel Nyborg Strand. Flere oplysninger, bl.a. tilmelding, indsendelse af abstracts og program kan fås DFS's hjemmeside www.nbi.dk/dfs.

Fysikkens fremtid?



Der er fundet mange sandsynlige sorte huller i universet, også i centrum af vores galakse. De ekstreme situationer kræver en ny "kvantegeometri". [Tegning fra www.nasa.gov.]

Fremtidens historikere vil formodentlig fremhæve opdagelsen af de grundlæggende naturlove som en af vor tids største kulturelle begivenheder. Men det betyder ikke, at fysikkens guldalder er overstået. Nye love venter på at blive opdaget i alle hjørner af naturen og fysikkens begreber og metoder spredt sig i dag udover hele videnskaben. I artiklen side 19 giver tre norske fysikere deres bud på fysikkens (og astronomiens) fremtid.