

KVANT December 4 2008

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 19. årgang

I DETTE NUMMER:

- NYE DIMENSIONER FOR SORTE HULLER
- LHC OM 10 ÅR
- GALILEO GALILEI
- LYSSENDE SALTAGURKER I ELEKTRISK STOL
- TERMISKE FLUKTUATIONER
- KULSTOF-14 DATERING AF STENALDERENS KERAMIK
- OPTISKE MÅLINGER AF NANOSTRUKTURER
- KVANT-NYHEDER

LØSSALGSPRIS: 45 KR

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

c/o 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

Michael Cramer Andersen (ansv. red.)
Christianshavns Gymnasium
Torsten Freltoft, Sophion Bioscience A/S
Thomas R. N. Jansson (webredaktør)
Mogens Esrom Larsen,
Matematisk Institut, KU
Sven Munk (nyhedsredaktør)
John Rosendal Nielsen (nyhedsredaktør)
Aurehøj Gymnasium
Jens Olaf Pepke-Pedersen, DTU Space
Finn Berg Rasmussen, Ørsted Lab, KU
Svend E. Rugh

Abonnementspris : 165 kr/år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.

Henvendelser vedr. abonnement til forretningsfører Lene Körner tlf. 35 32 07 62 (koerner@kvant.dk).

Annoncepriser

1/1 side: 3600 kr, 1/2 side: 2400 kr

1/4 side: 1600 kr.

Priserne er excl. moms og for reproklart materiale i farver. Henvendelser om annoncer til redaktøren, tlf. 22 67 26 42.

Oplag: 2400. Tryk: Brunder Tryk ApS, Brønderslev. ISSN 0905-8893



Produktionsplan

Nr. 1-09 udkommer ca. 15. marts

Nr. 2-09 udkommer ca. 15. maj

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

Indhold:

Nye dimensioner for sorte huller

Troels Harmark og Niels Obers 3

Aircondition – breddeopgave 33 med didaktisk kommentar

Jens Højgaard Jensen 7

KVANT-nyheder

Sven Munk og John Rosendal Nielsen 9

LHC ti år fra nu

Peter Hansen 10

Kulstof-14 datering af stenalderens keramik

Bente Philippsen 13

Planetkalender 2009

Martin Götz 17

Stjernehimlen

Michael Cramer Andersen 18

Galileo Galilei

Marie-Louise Hammer 20

Foreningsnyt

. 23

Lysende saltgurk i elektrisk stol

Klaus Seiersen 24

Termiske fluktuationer – er der noget nyt under Solen?

Ulf Rørbæk Pedersen, Thomas B. Schrøder og Jeppe C. Dyre . 26

Aktuelle bøger

John Rosendal Nielsen og Michael Cramer Andersen 30

Annonce

. 32

Nyt optisk måleinstrument til indlejrede nanostrukturer

P.E. Hansen, Kai Dirscherl og Jørgen Garnæs 33

Direkte observation af en exoplanet

John Rosendal Nielsen Bagsiden

Billedet på forsiden viser Mælkevejens centrum, hvor der befinder sig et supermassivt sort hul, med betegnelsen Sagittarius A*, der har en masse på omkring 4 millioner solmasser. Ved en ihærdig planlægning – og en god portion held – lykkedes det et hold astronomer at observere Sagittarius A* i både det nærinfrarøde område og i submillimeterområdet. Til deres store overraskelse var der høj aktivitet i løbet af de seks timer observationerne varede. Der var fire voldsomme udbrud eller “flares” i det nærinfrarøde område og det samme kunne ses i submillimeterområdet, men forsinket 1,5 time. Strålingen menes at komme fra gasskyer der er i kredsløb om det sorte hul, og som udvider sig med en hastighed på 5 mio. km/t (0,5% af lysets hastighed). Tegningerne til højre viser fænomenet (ESO 18/11-08).



KVANT udsendes gratis til fysiklærerne ved alle landets gymnasier, seminarier og HTX-kurser med velvillig økonomisk støtte fra fysikinstitutterne på Danmarks Tekniske Universitet samt Københavns, Syddansk, Aalborg og Aarhus Universiteter.

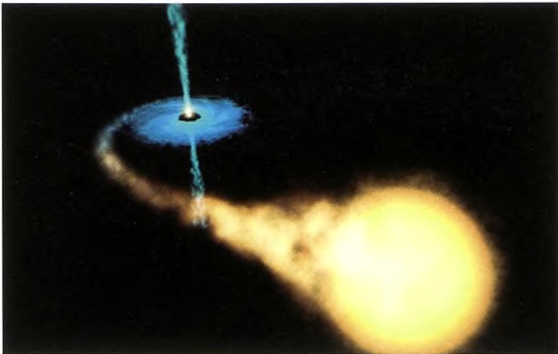
Nye dimensioner for sorte huller

Af Troels Harmark og Niels Obers, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Sorte huller er en af de mest spektakulære forudsigelser af Einsteins Almene Relativitetsteori. Deres eksistens udfordrer de fundamentale begreber i fysikken så en forståelse af deres egenskaber er afgørende i vores søgen efter de fundamentale naturlove, specielt for en kvantisering af tyngdekraften. Strengteori, som er et af de mest lovende bud på en teori for de fundamentale naturlove, antager at der er flere rumlige dimensioner end de sædvanlige tre. Man kan derfor spørge, hvilke konsekvenser disse ekstra dimensioner har for sorte hullers fysik. I de sidste syv år har der været mange nye opdagelser, som tilsammen peger på, at sorte huller i ekstra dimensioner har nye og overraskende egenskaber, og at der er et ekstremt rigt landskab af mulige sorte huller.

Indledning

Sorte huller opstår når tyngdekraften bliver så stærk, at selv lys ikke kan undslippe tyngdefeltet. Når en meget tung stjerne har opbrugt sit nukleare materiale, ender typisk livet med en gigantisk supernovaeksplosion. Hvis massen i den centrale region er større end en kritisk værdi, så vil stjernen forsvinde i mørket og i stedet ende som et sort hul. Et berømt eksempel på dette er den mørke ledsager til en røntgen dobbeltstjerne i konstellationen Cygnus. Denne galaktiske røntgenkilde kaldet Cygnus X-1 formodes at inkludere et sort hul med en vægt svarende til cirka 9 solmasser og den er cirka 6.000 lysår væk. Mere imponerende eksempler på sorte huller kan man finde i midten af galakser, for eksempel vores egen galakse Mælkevejen. Sådanne sorte huller har en vægt på millioner eller milliarder solmasser.



Figur 1. En kunstners opfattelse af et dobbeltstjernesystem, bestående af en kæmpestjerne og et sort hul. Hvis kæmpestjernen når ud til det sorte huls rækkevidde kan der overføres materiale, som accelereres ind mod det sorte hul. Der udsendes stråling når materialet bevæger sig med meget høj hastighed. Mens et sort hul i et dobbeltstjernesystem kan registreres pga. materialet der ryger ned i hullet, er det langt sværere at detektere et isoleret sort hul.

Et sort hul er karakteriseret ved at have en begivenhedshorisont. Man kan ikke sende lys fra det sorte hul bag ved begivenhedshorisonten. Hvis man for eksempel observerer en astronaut der falder ind mod det sorte hul, vil tiden, for én der observerer det sorte hul langt væk fra, gå langsommere og langsommere for astronauten efterhånden som han kommer nærmere og nærmere til det sorte huls begivenhedshorisont. Størrelsen af begivenhedshorisonten vokser med massen af det sorte

hul. For sorte huller i fire dimensioner er radius af det sorte hul lig med to gange Newtons gravitationskonstant ganget med massen divideret med lyshastigheden i anden. Dette giver en radius på cirka 26 kilometer for det ovennævnte sorte hul der er en del af Cygnus X-1.

Sorte huller er ikke kun interessante for astronomi og astrofysik. De udgør også et unikt laboratorium for vores forståelse af tyngdekraften, og specielt for tyngdekraftens forening med kvantemekanik. Bekenstein viste for eksempel i 1972 at sorte huller har en entropi som er proportional med arealet af begivenhedshorisonten. Ydermere opdagede Hawking i 1973, at sorte huller udstråler energi ligesom et sort legeme, dvs. med Planck spektret (dog med visse korrektioner). Som et resultat af dette blev det vist, at sorte huller kan tillægges termodynamiske egenskaber som temperatur og entropi, og at de opfylder de termodynamiske love.

For at forstå de fundamentale principper som ligger bag ved de sorte hullers termodynamiske egenskaber er det nødvendigt med en teori for kvantegravitation. Dette er også nødvendigt for at kunne forstå singulariteten, som er i det sorte hul. En singularitet der svarer til den der er i Big Bang teorien for Universets skabelse. Strengteorien er det mest lovende bud på en teori for kvantegravitation. Men strengteori forudsiger eksistensen af ekstra dimensioner udover de tre rumlige dimensioner, som vi allerede kender til. Hvordan disse ekstra dimensioner vil manifestere sig i eksperimenter, er endnu ikke klarlagt. Forskellige scenarier er blevet foreslået, og i nogle af disse scenarier kan man endog forestille sig at producere sorte huller i den næste generation af partikelacceleratorer, startende med Large Hadron Collider på CERN i Schweiz.

Idéen med flere dimensioner er ikke ny, men stammer allerede tilbage fra 1920'erne hvor matematikeren Klein og fysikeren Kaluza begge foreslog en femte dimension ved hjælp af hvilken man kan forene Almen Relativitetsteori og elektromagnetisme. Antagelsen var, at den ekstra rumlige dimension er periodisk og så lille, at vi ikke kan observere den.

Forskningen i de seneste år har vist, at hvis man har ekstra dimensioner, hvad enten de er små eller store, vil det have store konsekvenser for de sorte hullers egenskaber (se oversigtsartiklerne [1,2]). Dette viser ikke

kun, at der er mange flere muligheder for sorte huller end man tidligere har forestillet sig, man har også lært at ikke-trivielle faseovergange mellem forskellige slags sorte huller er mulige i Almen Relativitetsteori. For at forstå disse fænomener kræves nye teknikker for at løse Einsteins ligninger i Almen Relativitetsteori, hvilket, selv om de har en meget simpel form, bliver mere og mere kompliceret når vi går højere op i dimensioner. Intuitivt er årsagen, at når vi har flere dimensioner har rumtiden flere frihedsgrader og desuden når vi har med roterende sorte objekter at gøre, er der flere og flere rotationsplaner. Derudover, når det er periodiske retninger, vil størrelsen af begivenhedshorisonten sammenlignet med størrelsen af de ekstra dimensioner give anledning til mange forskellige muligheder som vi skal se.

De sidste syv års fremskridt har primært været inden for to forskellige, men relaterede områder. Det første område er sorte huller på en cylinder, dvs. rumtider, hvor en af de ekstra dimensioner er periodisk. Vi begrænser os her til neutrale og ikke-roterende sorte huller. Det andet område er, hvor vi betragter roterende neutrale sorte huller i fladt rum, dvs. hvor alle de ekstra dimensioner har uendelig udstrækning. Denne forskning har ført til opdagelsen af flere nye slags sorte huller, såsom sorte strenge, sorte ringe og mange andre eksotiske sorte objekter. Et af kendetegnene ved disse, sammenlignet med de fire-dimensionale sorte huller er, at formen af begivenhedshorisonten ikke er sfærisk men i stedet kan antage andre geometriske former.



Figur 2. Her ses en to-sfære (til venstre) og en torus (til højre). To-sfæren er den eneste mulige form af begivenhedshorisonten for et fire-dimensionalt statisk sort hul. Torusen kan i stedet realiseres for sorte huller i højere dimensioner.

Sorte huller i fire dimensioner

I Almen Relativitetsteori kan man finde klassiske rumtider ved at løse Einsteins ligninger for metrikken. Metrikken beskriver geometrien af rumtiden ved at give afstanden mellem begivenheder i rumtiden. Einsteins ligninger fortæller hvilken metrik man får, givet den masse og energi der er tilstede. Den simpleste løsning af Einsteins ligninger får man ved at antage, at der ikke er nogen tidsafhængighed og at løsningen er sfærisk symmetrisk. Dette giver den berømte Schwarzschild løsning, som beskriver et statisk sort hul, fundet af Schwarzschild i 1917 få år efter Einstein fremsatte den Almene Relativitetsteori. En af dets vigtigste egenskaber er, at det har en sfærisk overflade. Dette er begivenhedshorisonten, som i dette tilfælde er formet som en to-dimensional sfære, dvs en kugleoverflade (se figur 2). Massen af det sorte hul er proportional med radius af kugleoverfladen. Det er matematisk bevist at Schwarzschild metrikken er den eneste mulige statiske

løsning af Einsteins ligninger for en given masse. Dvs. at det ikke findes andre statiske sorte huller i fire dimensioner end det sfæriske sorte hul som Schwarzschild metrikken beskriver.

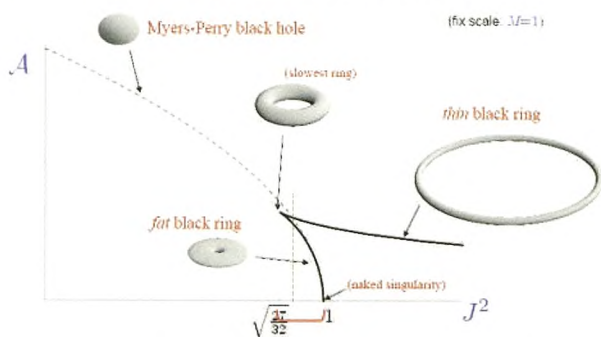
Når man tilføjer rotation, kan man finde en mere generel løsning af Einsteins ligninger. Denne løsning er Kerr metrikken, som blev fundet af Kerr i 1963, og den er karakteriseret ikke kun af massen men også af impulsmomentet omkring en rotationsakse. Også i tilfælde af rotation er det matematisk bevist, at den eneste løsning til Einsteins ligninger, givet massen og impulsmomentet, er Kerr metrikken. For Kerr metrikken er begivenhedshorisonten stadigvæk en to-sfære, dog er den ikke rund længere men snarere let fladtrykt sådan at den har en ellipsoide form som konsekvens af centrifugalkraften fra rotationen. Dvs. når det sorte huller roterer mere og mere bliver det mere og mere fladtrykt. Impulsmomentet for Kerr løsningen kan ikke blive arbitrært stort, men har en øverste grænse for en given masse.

Fra huller til ringe

Hvad ved vi så om sorte huller med flere dimensioner, hvor alle rumlige dimensioner har uendelig udstrækning? I en visionær artikel fra 1963 undersøgte Tangherlini generalisationen af Schwarzschild løsningen til højere dimensioner. I dag er det betragtet som en elementær hjemmeopgave for studenter i Almen Relativitetsteori. Det tog i stedet mange, mange år, og kun med motivation hentet fra strengteori, før man generaliserede Kerr løsningen til højere dimensioner. Denne generalisation blev fundet i 1986 af Myers og Perry. Mens der i fire dimensioner kun er et rotationsplan, er der for eksempel i fem dimensioner to uafhængige rotationsplaner og derfor to uafhængige impulsmomenter. Mere generelt er der flere og flere uafhængige impulsmomenter jo flere rumlige dimensioner man har. Der er en anden interessant forskel i højere dimensioner. I fem dimensioner er der en øvre grænse på impulsmomenterne ligesom i fire dimensioner. I seks og højere dimensioner har man i stedet at impulsmomenterne kan blive arbitrært store for en givet masse. Dette har store konsekvenser for, hvordan sorte huller kan opføre sig i højere dimensioner.

For alle fire-dimensionale sorte huller gælder det, at formen af begivenhedshorisonten er en to-sfære. Dette er garanteret af en matematisk sætning bevist af Hawking. Det betyder at man i fire dimensioner ikke kan have en begivenhedshorisont med form af en torus (se figur 2). Begivenhedshorisonten for Tangherlini løsningen og Myers-Perry løsningen har også form som en sfære, dog er det nu en højere dimensional sfære. I femten år troede man at dette var de eneste mulige sorte huller i højere dimensional Almen Relativitetsteori. Derfor var det meget bemærkelsesværdigt da Reall og Emparan i 2001 opdagede en ny eksakt løsning af Einsteins ligninger i fem dimensioner som beskrev en ny slags sort hul, nemlig en roterende sort ring. Som navnet antyder har begivenhedshorisonten en hel ny form nemlig formen af en ring. Vi vil nu

prøve at forklare, hvad det vil sige at den sorte ring er ringformet. Man kan forestille sig en vielsesring, som det objekt man får når man tager en lille cirkel og roterer den rundt i en stor cirkel (ligesom torusen på figur 2). På samme måde er en ring i fire rumlige dimensioner beskrevet ved at tage en to-sfære og rotere den rundt i en stor cirkel. Tyngdekraften er altid en tiltrækkende kraft. Derfor skal ringen rotere for at kunne modvirke det tyngdefelt, som den selv skaber. Hvis ikke den roterede ville ringen trække sig sammen til et hul. Med rotation kan centrifugalkraften udligne tyngdekraften.



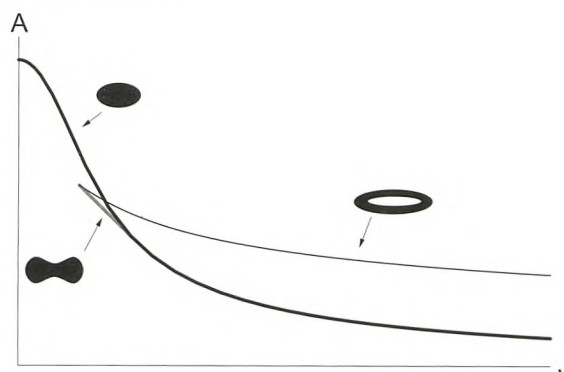
Figur 3. Fase-diagram for Myers-Perry løsningen og den sorte ring i fem dimensioner. På den horisontale akse har vi impulsmomentet i anden og på den vertikale akse har vi arealet af begivenhedshorisonten. På figuren ses at der er et interval hvor der findes tre forskellige sorte huller med samme impulsmoment og masse. Det ses også at der er to forskellige grene af den sorte ring, den ene en tynd sort ring og den anden en tyk sort ring som mødes med Myers-Perry løsningen i en singularer løsning. Det ses at den tynde sorte ring kan have arbitrært stort impulsmoment.

En af de mest slående konsekvenser af den sorte ring i fem dimensioner er, at der nu er visse værdier af impulsmomenterne for en given masse hvor der er flere mulige løsninger med begivenhedshorisonter til Einsteins ligninger (se figur 3). Dette er i modsætning til fire dimensioner, hvor der kun findes én mulig løsning givet impulsmomentet og masse. Dette betyder, at i en verden med flere dimensioner bliver man nødt til at måle andet end blot massen og impulsmomentet for at kunne finde ud af, hvilken slags sorte huller man observerer. Siden da har man fundet mange flere eksempler på nye slags sorte huller i fem dimensioner. For eksempel har man fundet en løsning kaldet "sort Saturn", som består af et roterende sort hul med en sort ring roterende omkring.

Udover fem dimensioner

Vores forståelse af sorte huller i fem dimensioner er nu tilsyneladende mere eller mindre komplet. Til gengæld er sorte huller i mere end fem dimensioner næsten ukendt land. Problemet er, at de teknikker som man brugte til at finde løsninger i fire og fem dimensioner ikke længere virker. Desuden forventer man et meget mere rigt landskab af løsninger, da man får flere og flere frihedsgrader jo flere dimensioner man har. Det første eksempel på en løsning, udover Myers-Perry løsningen som har sfærisk form, blev fundet i 2007 (se figur 4 og artiklen [3]). Denne nye løsning er en generalisering af den fem-dimensionale roterende sorte

ring. Formen af begivenhedshorisonten svarer til, at man tager en højere dimensional sfære og roterer den rundt i en cirkel. Løsningen blev fundet med hjælp af en ny teknik, som går ud på at man former en ring fra et rør ved at bøje det, lukke det og lade det rotere omkring sin symmetriakse. I modsætning til de andre løsninger omtalt her, er den højere dimensionale sorte ring ikke en eksakt løsning. I stedet går den nye metode ud på at finde løsninger af Einsteins ligninger approksimativt. I øjeblikket er vi i gang med at udvikle denne teknik til også at finde andre nye løsninger med helt nye former af begivenhedshorisonten, for eksempel højere dimensionale tori.



Figur 4. Fase-diagram for Myers-Perry løsningen og den sorte ring i seks eller flere dimensioner. På den horisontale akse har vi impulsmomentet og på den vertikale akse har vi arealet af begivenhedshorisonten. Den sorte ring går over i en anden sort hul fase som svarer til Myers-Perry løsningen med riller. Denne fase møder endelig Myers-Perry løsningen i et punkt der markerer grænsen hvor Myers-Perry løsningen bliver ustabil, dvs. den er ustabil når den roterer tilstrækkeligt hurtigt. Dette fase-diagram er endnu ikke fuldt beviset men er baseret på flere forskellige uafhængige beregninger.

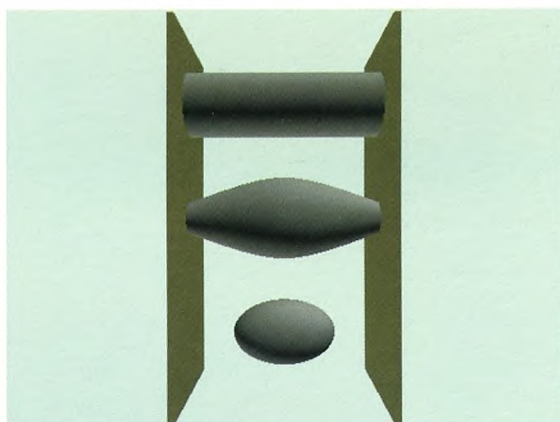
Periodiske ekstra dimensioner

Indtil nu har vi kigget på sorte huller, hvor alle de rumlige dimensioner har uendelig udstrækning. Mere realistiske modeller med ekstra dimensioner kan enten involvere periodiske ekstra dimensioner, eller at vi lever på en slags flyvende tæppe, der svæver i et rum med uendelig udstrækning (eller en kombination af disse). Vi diskuterer her den simpleste model, hvor vi har en enkel periodisk rumlig dimension. Dette kan vi bruge til at forstå de mere komplicerede og realistiske modeller. Allerede i denne simple model ser vi, at der er flere forskellige slags sorte huller. For at illustrere disse forskellige sorte huller er det nyttigt at tænke på den periodiske retning som et endeligt liniestykke, hvor de to endepunkter er sammenfaldende. I vores figurer vil disse endepunkter svare til de to identificerede vægge i vores rum.

Hvis vi tager et meget lille sort hul i vores rum med en periodisk retning, vil effekten af den periodiske retning være forsvindende. Lille betyder her, at radien af begivenhedshorisonten er meget mindre end perioden af den periodiske retning. Vi kan nu prøve at gøre det sorte hul lidt større. Så vil begivenhedshorisonten blive deformeret af tyngdekraften, som kommer fra den

periodiske retning. Denne effekt kan lettest forstås ved at tænke på det sorte hul med en periodisk retning som en uendelig række af sorte huller, der er placeret på en ret linie med samme indbyrdes afstand. Hvis vi betragter et enkelt af denne uendelige række af sorte huller, vil tyngdekraften fra alle de andre sorte huller så virke på dette sorte hul og deformere dets begivenhedshorisont.

De sorte huller som vi lige har beskrevet, kalder vi lokaliserede sorte huller, da deres begivenhedshorisont ikke strækker sig over hele den periodiske retning (se figur 5). Den eksakte løsning af Einsteins ligninger der beskriver et lokaliseret sort hul, er ikke fundet. I stedet har man fundet en måde at beskrive løsningen approksimativt, ved brug af samme metode som vi omtalte for de sorte ringe i mere end fem dimensioner. Desuden har man også fundet numeriske løsninger af Einsteins ligninger, som beskriver disse sorte huller.



Figur 5. De tre forskellige mulige sorte huller for en rumtid med en enkel periodisk retning. Den nederste er det lokaliserede sorte hul, den midterste er den ikke-uniforme sorte streng og den øverste er den uniforme sorte streng. Som figuren antyder er der tre faser forbundet med hinanden. Det lokaliserede sorte hul går over i den ikke-uniforme sorte streng når man øger massen tilstrækkeligt meget. Den ikke-uniforme sorte streng møder så den uniforme sorte streng i et punkt der markerer grænsen hvor den uniforme sorte streng bliver ustabil, dvs. den uniforme sorte streng er ustabil når massen er tilstrækkeligt lille.

Man kan nu spørge hvad der sker hvis vi forstørrelser det lokaliserede sorte hul så meget, at dets begivenhedshorisont strækker sig hele vejen rundt omkring den periodiske retning. Dette er også blevet studeret, og det er blevet fundet at man går ind i en ny fase hvor det sorte hul har en begivenhedshorisont der er viklet rundt om den periodiske retning. Vi kalder sådan en type sort hul, hvor begivenhedshorisonten er viklet rundt omkring den periodiske retning, for en sort streng. Der er to forskellige slags sorte strenge, den ene slags har en begivenhedshorisont der er uniform i den periodiske retning, mens den anden har en begivenhedshorisont der varierer med den periodiske retning (se figur 5). Svaret på ovenstående spørgsmål, om hvad der sker med det lokaliserede sorte hul når vi gør det tilstrækkeligt stort, er nu, at det bliver til en ikke-uniform sort streng.

For den uniforme sorte streng i fem eller flere dimensioner kender man den eksakte løsning af Einsteins

ligninger, og den eksisterer for alle masser. I 1993 fandt Gregory og Laflamme ud af, at den uniforme sorte streng er ustabil for tilstrækkeligt små masser. Dette er noget nyt i forhold til fire-dimensionelle sorte huller, da man der ved, at de altid er stabile. Instabiliteten af den uniforme sorte streng er analog til Jeans instabilitet, som siger at stof som er påvirket af tyngdekraften har en tendens til at klumpe sammen. Den er også analog til den klassiske Rayleigh-Plateau instabilitet, som siger, at når vi forstyrrer en cylinderformet væske så har den en tendens til at få riller som vil blive så dybe at væsken splittes op i enkelte dråber. For den uniforme sorte streng forestiller man sig, at Gregory-Laflamme instabiliteten ender med at man har et lokaliseret sort hul. Den uniforme sorte streng er direkte forbundet med den ikke-uniforme sorte streng, da man har at de to løsninger møder hinanden for den kritiske masse på grænsen af Gregory-Laflamme instabiliteten.

Den eksakte løsning af Einsteins ligninger for den ikke-uniforme sorte streng er ikke kendt, men man har fundet den numerisk. Det er bemærkelsesværdigt, at en sådan ikke-uniform løsning af Almen Relativitetsteori eksisterer og det hænger tæt sammen med den ikke-lineære natur af Einsteins ligninger.

Det næste skridt

Vi er i færd med at forstå, at Almen Relativitetsteori i højere dimensioner tillader et meget rigt landskab af sorte huller og med nye interessante fænomener. Dette kan hjælpe med at forstå tyngdekraften, og hvordan rumtiden opfører sig under ekstreme forhold. De erfaringer vi har gjort os er meget vigtige, hvis det viser sig at vi har ekstra dimensioner i Naturen, som strengteori forudsiger. Dette er i øjeblikket ved at blive undersøgt i det nye store eksperiment Large Hadron Collider på CERN i Schweiz. Vores nuværende forståelse er langt fra komplet. For eksempel forstår vi ikke helt endnu hvorfor forskellige former for begivenhedshorisonter er mulige, mens andre former ikke er tilladte. Vi ved heller ikke nok om, hvad der sker når de sorte huller har en ladning. Dette er et særligt vigtigt område at forstå, da det kan hjælpe os til at forstå den kvantemekaniske beskrivelse af sorte huller ved brug af strengteori. Blandt andre fascinerende områder, som dette kan hjælpe med at kaste lys over, er at der tilsyneladende findes en dyb relation mellem sorte huller i højere dimensioner og termodynamiske og hydrodynamiske egenskaber af konventionelle felt-teorier.

Litteratur

- [1] Troels Harmark, Vasilis Niarchos og Niels Obers (2007), Instabilities of black strings and branes, *Class. Quant. Grav.* **24** (2007) R1-R90.
- [2] Roberto Emparan og Harvey Reall (2008), Black holes in higher dimensions, *Living Rev. Rel.* **11**:6 (2008).
- [3] Roberto Emparan, Troels Harmark, Vasilis Niarchos, Niels Obers og Maria Jose Rodriguez (2007), The phase structure of higher-dimensional black rings and black holes, *JHEP* **10** (2007) 110.



Troels Harmark er forskningslektor på Niels Bohr Institutet i gruppen for teoretisk partikelfysik og kosmologi. Han forsker i sorte huller, strengteori og holografi. Hans hovedinteresser er kvantemekaniske effekter for sorte huller, sorte huller i mere end fire dimensioner og i holografiske teorier der kan forbinde strengteori i ti dimensioner til feltteorier i fire dimensioner.



Niels Obers er lektor på Niels Bohr Institutet i gruppen for teoretisk partikelfysik og kosmologi. Hans forskningsområde er tyngdekraft, strengteori og feltteori. De sidste år har hans arbejde koncentreret sig om tyngdekraft i højere dimensioner, især med løsninger til sorte huller og deres applikationer til strengteori og endelig-temperatur feltteori.

Aircondition – breddeopgave 33 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, NSM, Roskilde Universitet

Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUCs fysikuddannelse – dobbelt: Dels udvælger jeg opgaverne, så de kan have interesse som fysikproblemer i egen ret. Dels udvælger jeg dem med henblik på at kunne knytte didaktiske overvejelser til dem af interesse for fysikundervisere. I første omgang i forhold til universitetsundervisning. Men i anden omgang kunne der måske også trækkes paralleller til andre undervisningsniveauer.

Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaven i sidste nummer af KVANT var denne breddeopgave fra RUC (nr. 33 i rækken her i KVANT):

33. Aircondition

Et aircondition anlæg holder en rimelig temperatur indendørs i en bygning. Udendørstemperaturen svinger mellem en maksimumsværdi om dagen og en minimumsværdi om natten, som er lig indendørstemperaturen. Hvor stor er elregningen sammenlignet med elregningen, hvis udendørstemperaturen havde maksimumsværdien døgnet rundt? Begrund svaret.

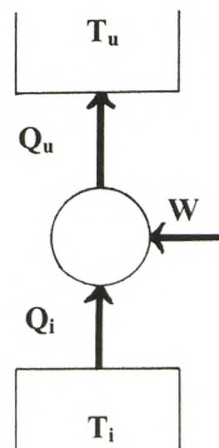
Løsning

Der siver til enhver tid en varmemængde ind i bygningen per tid, Q_i , som kan sættes proportional med forskellen mellem udendørstemperaturen, T_u , og temperaturen indendørs, T_i :

$$Q_i = K \cdot (T_u - T_i) \quad (1)$$

hvor proportionalitetskonstanten K karakteriserer bygningens varmeisolering. Det er denne varmemængde, som airconditionanlægget løbende skal pumpe ud af bygningen igen. Og i fysiksprog er opgaven at finde, hvor meget arbejde det kræver i løbet af et døgn med svingende udendørstemperatur sat i forhold til det nødvendige arbejde, hvis udendørstemperaturen konstant lå på dens maksimale værdi.

Til et vilkårligt tidspunkt ser situationen principielt således ud:



hvor W er det udførte arbejde per tidsenhed på airconditionanlæggets kredsløbsstof, Q_u den afleverede varmemængde per tidsenhed udendørs fra kredsløbsstoffet, og Q_i den af kredsløbsstoffet opsugede varmemængde per tidsenhed indendørs. Som sagt skal Q_i være lig med indsvingningen givet ved (1).

Forudsat at kredsløbsstoffet i airconditionanlægget gennemløber kredsløbsprocesser gælder ifølge termodynamikkens første hovedsætning om energibevarelse, at den tilførte energi til kredsløbsstoffet er lig med den fjernede energi fra det:

$$Q_i + W = Q_u \quad (2)$$

og ifølge termodynamikkens anden hovedsætning om umuligheden af den samlede entropis fald, at den per

tid af airconditionanlægget fjernede entropi fra bygningens indre er mindre end eller lig med den per tid til omgivelserne tilførte entropi:

$$\frac{Q_i}{T_i} \leq \frac{Q_u}{T_u} \quad (3)$$

Ved kombination af (1), (2) og (3) fås:

$$W \geq K \cdot \frac{(T_u - T_i)^2}{T_i} \quad (4)$$

I stedet kan vi også skrive:

$$W = \alpha \cdot K \cdot \frac{(T_u - T_i)^2}{T_i}, \quad (5)$$

under antagelse af, at α er temperaturuafhængig, og hvor $1/\alpha$ så er det faktiske airconditionanlægs effektivitet i forhold til den fysisk principielt set størst mulige effektivitet svarende til lighedstegnet i ligning (4).

Vi skal nu sammenligne W integreret over et døgn, når T_u konstant er T_{umax} , og når T_u er en funktion af tiden t , der svinger imellem T_i og T_{umax} . $T_u(t) - T_i$ kunne da f.eks. se således ud:

$$T_u(t) - T_i = \frac{1}{2}(T_{umax} - T_i) \cdot \left(1 + \sin\left(\frac{2\pi t}{\tau}\right)\right), \quad (6)$$

hvor τ her er et døgn.

Integreres $W(t)$ herefter fra 0 til τ med (6) indsat i ligning (5) fås:

$$\int_0^\tau W(t)dt = \frac{3}{8} \cdot \alpha \cdot K \cdot \frac{(T_{umax} - T_i)^2}{T_i} \cdot \tau \quad (7)$$

for det samlede arbejde udført på kredsløbsstoffet i airconditionanlægget i løbet af et døgn. Sammenholdt med højresiden af ligning (5) ganget med τ ses det at være 3/8 af det samlede arbejde, når udetemperaturen konstant er T_{umax} .

Når udendørstemperaturen svinger mellem en maksimumsværdi om dagen og en minimumsværdi om natten, som er lig indendørstemperaturen, bliver elregningen til airconditioneringen altså 3/8 af elregningen, hvis udendørstemperaturen havde maksimumsværdien døgnet rundt.

Kommentar

De åbent formulerede breddeopgaver, hvor formaliseringen af problemerne som led i deres løsninger er en vigtig del af besvarelsene, står i kontrast til opgavetraditionen i universitetsfysikundervisning, hvor opgaverne netop stilles i en formaliseret og præcis form ved hjælp af internt fysiske begreber. I denne tradition er der en tendens til, at opgaverne forfalder til at blive typeopgaver, man kan træne sig i at besvare uden dybere forståelse af, hvad der foregår. Er der også en tendens til, at breddeopgaverne forfalder til at blive typeopgaver, som ikke udfordrer begrebsindlæring i dybden? Censoren (Ove Nathan) ved den første breddeeksamen

i 1976 spurgte til, om vi ikke frygtede, at det ville gå sådan. Kunne vi blive ved med at få øje på nye slags problemer?

Nu mere end 30 år efter synes det i overraskende grad at have været muligt. Ved løbende at samle opgaveidéer sammen og notere dem ned før de glemmes er det hvert år lykkedes at formulere de mindst 20 nye breddeopgaver, som eksamensafholdelserne har krævet. Og opgavesamlingen er nu på 630 opgaver. Men selvfølgelig er det ikke uden problemer at modarbejde et forfald til typeopgaver. Opgaven her kan bruges som illustration af et af de større.

Airconditionopgaven (fra sommereksamen 2007) indeholder essentielt den samme fysik som følgende opgave om dybfryseren i udhuset (stammende fra vintereksamen 1977, jf. KVANT nr.1, april 2001):

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

Men hvor svaret på dybfryseropgaven ligger i regningerne frem til ovenstående ligning (5), er airconditionopgaven for ikke at være for identisk med dybfryseropgaven formuleret, så den herudover kræver de ekstra regninger frem til ligning (7). En lignende airconditionopgave til dybfryseropgaven kunne have lydt noget i retning af:

Hvad er sammenhængen imellem temperaturforskellen mellem ude og inde og strømforbruget af et airconditionanlæg? Begrund svaret.

Altså en opgave, hvor svaret er givet ved udregningerne frem til ligning (5) og altså en lettere opgave end den stillede. Der er således en tendens til, at sværhedsgraden af opgaverne stiger med årene i bestræbelsen på at undgå forfaldet til typeopgaver og den hertil hørende mindre indlæringsdybde. Den helt store udfordring er at få øje på lette, anderledes opgaver. Eller rettere sagt opgaver, der er svære ved at være anderledes og ikke ved at være teknisk komplicerede.

I den næste KVANT artikel om breddeopgaver vil jeg kommentere spørgsmålet om typeopgaver lidt mere principielt.

Breddeopgave 34 og 35. Billygter og laservåben

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningerne til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra den indledende samling af 68 opgaver fra 1976 og fra eksamen i august 1983, nr. 34 og 35 i rækken her i KVANT):

I hvilken afstand ophører man med at kunne skelne de to lygter på en bil fra hinanden? Begrund svaret.

Pentagons planer for satellitbårne laservåben indeholder et linsearrangement med en diameter på 10 m for at opnå tilstrækkelig fokusering af laserenergien ved mål 1000 km borte. På hvor lille et område er energien fokuseret? Begrund svaret.

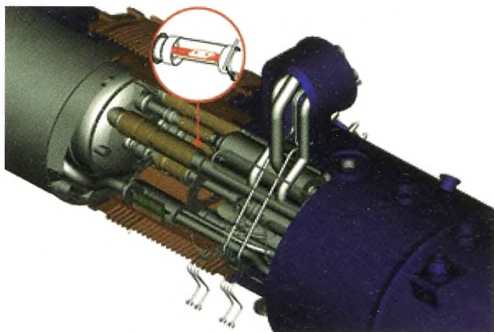
Løsninger og kommentarer bringes i næste nummer.

KVANT-nyheder

Af Sven Munk og John Rosendal Nielsen, KVANT.

Uheld på LHC

PARTIKELFYSIK. Den 19. september gik det galt med CERNs Large Hadron Collider (LHC). Nej, der opstod ikke et sort hul, der opslugte Jorden. Men en del af LHC – kendt som “Sektor 3-4” – brød sammen pga. en fejl i en elektrisk forbindelse mellem to af acceleratorens magneter.



Den elektriske forbindelse mellem de to magneter (vist med rødt på billedet), der normalt skulle være superledende, blev normalt ledende. Den lille ledningssektion fik en strøm på 9000 ampere og et spændingsfald på 1 volt, hvilket betød at der blev afsat en effekt på 9000 Watt. Ledningen, der er én millimeter i tværsnit, fordampede med det samme. Dette blev detekteret af nødsystemerne, der straks slukkede for strømmen og afledte strømmen til eksterne modstande.

Desværre kunne strømmen ikke ledes hurtigt nok væk, så der opstod elektriske udladninger, som brændte hul i isolationen – og derved kunne de ekstremt kolde dele af udstyret komme i kontakt med stuetemperatur. Det betød at den flydende Helium – der afkøler de kolde dele – slap ud og fordampede. Den store mængde fordampet helium skabte enorme trykforskelle i apparaturet, der resulterede i omfattende mekaniske skader, hvor nogle af magneterne rev sig løs fra deres forankring i tunnelens betongulv.

Reparationen er påbegyndt, men det er ikke klart hvordan LHC kan genstartes. Der er måske et vakuumkammer, der er blevet svinet til og har behov for at blive rensat. Det vil også være rart at kende den præcise grund til at fejl i den elektriske forbindelse kunne opstå, så man kan undgå fejlen i fremtidens eksperimenter på LHC.

Kilder: www.videnskab.dk/content/dk/blogs/big_bang_blog/-hvad_gik_galt_19_september; <http://press.web.cern.ch/press/PressReleases/Releases2008/PR14.08E.html>

Chandrayaan-1 til månen

ASTRONOMI. Den indiske månesonde er kommet godt fra start og vil med stor sandsynlighed være i et polært kredsløb om Månen, når dette læses. Missionen har til opgave gennem “remote sensing” at kortlægge Månens geologi og forekomst af mineraler. Til denne opgave bruges udstyr, som med stor opløsningsevne kan registrere stråling i det synlige og nær infrarød (NIR) område. Dette suppleres med udstyr, som er følsomt overfor røntgenstråling med lav og høj energi. Af mineraler og grundstoffer af særlig interesse nævnes: Magnesium, Aluminium, Silicium, Jern, Titanium, Radon, Uran og Thorium.

Kilde: Indian Space Research Organisation (information om instrumenteringen), <http://www.isro.gov.in>

Solceller mere effektive

FASTSTOFFYSIK. Idéen med at basere solceller på brugen af farvestof blev for alvor kendt, da forskeren Michael Grätzel fremkom med sin konstruktion i 1992. Forskningen på dette felt har på det seneste givet en virkningsgrad på 10 procent. Med halvledermaterialer, f.eks. silicium, kan man komme højere, men prisen per leveret kWh er fortsat ikke lav.

Den større virkningsgrad er opnået ved at overtrække nanokrystaller af Titanoxid med et farvestof (Ruthenium-complex), som frigør elektroner, når det bliver ramt af sollys.

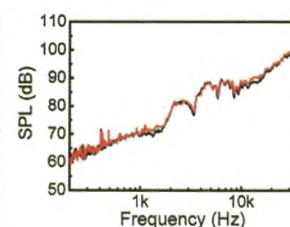
Kilde: Dong Shi et al., The Journal of Physical Chemistry C, doi:10.1021/jp808018h, <http://dx.doi.org/10.1021/jp808018h>

Omnifobe overflader

OVERFLADEFYSIK. Vanddråber preller af andefjer og Lotusplantens blade. En sådan egenskab betegnes hydrofobi og den er knyttet til vands store overfladespænding. Organiske kemiske væsker har mindre overfladespænding, hvorfor det har været vanskeligt at opnå den samme afvisende effekt. Nu er der fundet en metode til at skabe en overflade, se figuren nedenfor til venstre, som ikke blot afviser vand, men også organiske væsker – derfor betegnelsen omnifobe.

De interessante egenskaber er opnået ved en særlig struktur af overfladen. Forskerne har døbt strukturen mikrohooos. Her skal man vide, at hooos er naturlige kalkstenssøjler, som på toppen har en bred plade af det hårdere materiale dolomit. På samme måde som vind og vejr har bidt i den bløde kalksten har forskerne ætset sig frem til mikroskopiske søjler af siliciumoxid. Ser man godt efter kan man se denne struktur under de transparente dråber.

Kilde: Anish Tuteja et al., PNAS, doi: 10.1073/pnas.0804872105; <http://www.pnas.org/content/early/2008/11/10/0804872105>



Lydfolie

NANOFYSIK. Kinesiske forskere har udviklet en tyndfilm, der frembringer lyd som en højttaler. I denne transparent fleksible film er indlejret kulstofnanorør. Lydfrembringelsen beror på en termoakustisk effekt. Flyder der en vekselstrøm gennem den få nanometer tykke film kan materialet nå op på 80 °C. Da varmekapaciteten er så lille kan opvarmning og afkøling følge ved høje frekvenser. Man bemærker på figuren ovenfor til højre, at lydtrykket (SPL) vokser med frekvensen.

Idéen med at udnytte den termoakustiske effekt allerede er beskrevet i 1880 af englænderen W.H. Preece, som kunne frembringe næppe hørbar lyd med en film af platin. De hurtige temperaturforandringer kunne ikke realiseres pga. metalfilmens store varmekapacitet og ledningsevne.

Kilde: Lin Xiao et al., Nano Letters, doi: 10.1021/nl802750z (2008); <http://pubs.acs.org/cgi-bin/abstract.cgi/nalefd/asap/abs/nl802750z.html>

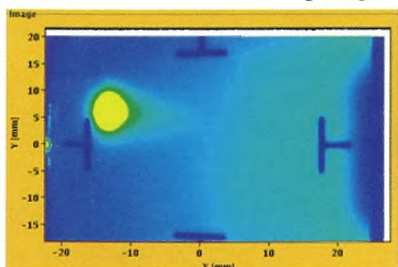
LHC ti år fra nu

Af Peter Hansen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

En række nylige artikler i KVANT har beskrevet CERNs Large Hadron Collider (LHC). Det er den nyeste "energifront" i udforskningen af universets elementære bestanddele. Vor viden om disse ting vil altid være begrænset af energien af de elementære prober, som bruges til at undersøge stoffet. Hvis man leder efter en ny elementær partikel med høj masse, så skal man bruge høj energi til at skabe den i laboratoriet, og hvis man leder efter meget små bestanddele af stoffet, så skal man bruge en meget lille bølgelængde, dvs igen en meget høj energi. Partikelfysik er således totalt afhængig af stadigt at kunne skubbe energifronten længere ud ved hjælp af partikel-acceleratorer. Med LHC åbnes store muligheder for opdagelser i et energiområde.

LHC status

Acceleratoren og de tilhørende partikel-detektorer stod færdige på CERN den 10. september 2008 efter 18 års konstruktion og endnu længere forberedelsestid. På dagen forsøgt det at sende to protonstråler hver sin vej rundt i de to 27 km lange strålerør. Dette første forsøg skete under kolossal mediebevågenhed og successen af forsøget kan tydeligt aflæses i ansigterne på tilskuerne i kontrolrummet, som eksempelvis LHC projektlederen og generaldirektøren for CERN vist på figur 1 og 2.



Figur 1. Det første bundt partikler, som blev ført igennem CERNs acceleratorkompleks og her dukker op ved "punkt 3" i LHC ringen.



Figur 2. Udviklingen følges med stor begejstring af ledende fysikere ved CERN.

Ugen efter gik man videre med at afprøve den sidste ottendedel af acceleratorens superledende magneter ved fuld strømstyrke. Først da var denne sektor nået ned på operationstemperaturen på 1,9 kelvin. Her gik det desværre galt. En fejl i en elektrisk forbindelse mellem to magneter forårsagede et udslip af helium, der resulterede i ødelæggelser af komponenterne omkring forbindelsen. Det var et kulsort uheld, imod hvilket det er svært at sige hvordan man kunne have garderet sig.

Denne skade vil forsinke de første kollisioner mellem de to protonstråler til næste forår. Dels vil reparationerne tage tid og dels tager det lang tid at

nedkøle en sektor (alene fra 300 til 80 kelvin tager det tre uger samt 64 lastbiler fyldt med flydende luft og herefter tager det endnu seks uger at køle de 4.700 tons med helium ned til sluttemperaturen). Det er planen at forsætte sommeren over med kollisioner ved 10 TeV (tera elektron-volt) og først derefter forsøge sig med maximal-energien på 14 TeV.

LHC efter 10 år

Der vil så gå flere år med at forsøge at aftvinge naturen svar på de spørgsmål, som acceleratoren blev sat i verden til at studere, såsom om der virkeligt eksisterer en Higgs-partikel, der giver alle andre partikler masse. Naturen garanterer jo ingenting, men lad os antage at man efter fem år har fundet Higgs-partiklen samt visse antydninger af ny fysik uden for standardmodellen.

Hvad skal der så ske? Yderligere fremskridt med det eksisterende udstyr vil være op ad bakke. På det tidspunkt vil det tage fem år at halvere den statistiske usikkerhed på resultaterne. Læg mærke til at dette er *efter* at have indregnet stadige forbedringer i acceleratorens virkemåde. Herefter vil det være helt umuligt at forbedre præcisionen ved bare at fortsætte. Ydermere vil kvadrupol-magneterne omkring kollisions-punkterne ophøre med at fungere på grund af strålingsbeskadigelse. En fuld udnyttelse af LHCs potentiale vil således kræve en eller anden form for kvalitativ forbedring om fem-ti år. Det er bestemt ikke for tidligt at bekymre sig om dette, idet det erfaringsmæssigt tager mange år at planlægge, udføre og ikke mindst at financiere større acceleratorprojekter.

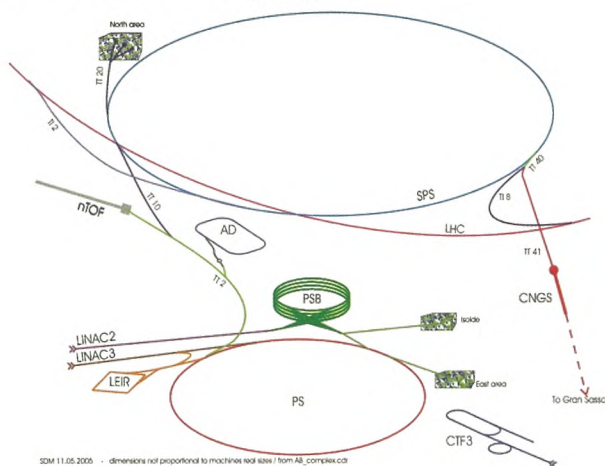
Energi-opgradering (DLHC)

Den første mulige opgradering, som falder i tankerne, er en forøgelse af energien i strålerne. Dette studeres under overskriften "Double energy LHC" eller DLHC. Det vil kræve helt nye dipolmagneter med nye superledende materialer og være meget dyrt. Måske ville det faktisk bedre kunne betale sig at genoplive det amerikanske SSC projekt, der aborterede i begyndelsen af 1990'erne. En 80 km lang tunnel under prærien i Texas eksisterer faktisk stadigvæk. Man kan i hvert fald roligt sige, at det vil være en stor udfordring at få en energiopgradering vedtaget politisk. Derfor fokuseres på at øge luminositeten.

Luminositet-opgradering (SLHC)

En alternativ måde at udvide rækkevidden i energi er at opgradere intensiteten i de kolliderende proton-stråler. Protonerne består som bekendt af kvarker og gluoner, og det er i virkeligheden de elementære sammenstød mellem disse bestanddele, som vi er interesseret i. Der er imidlertid rigtigt mange bestanddele, som hver bærer kun en lille brøkdel af protonens energi. Det er uhyre sjældent, ved høje proton energier, at finde en kvark der bærer over halvdelen af protonens energi. Men med tilstrækkeligt statistik kan man i princippet finde disse sjældne tilfælde og på den måde skubbe energigrænsen længere ud.

Hvordan skulle det lade sig gøre? Først og fremmest kræver det en generel fornyelse af dele af CERNs infrastruktur. Problemet med levetiden af kvadropolerne omkring kollisionspunkterne er allerede nævnt. Men der er også helt basale elementer i infrastrukturen, som er tæt på at være udtjente allerede nu. Det gælder elementer i injektionskæden af mindre accelerators, se figur 3, der til sidst afleverer protonerne i LHC – ikke mindst Proton Synchrotronen (PS) og den lineære accelerator (LINAC 3), der er fra 1960. CERN har allerede et program, finansieret af et ekstraordinært bidrag fra medlemslandene, til fornyelse af denne injektionskæde, som ses på figur 3.



Figur 3. CERNs acceleratorkompleks.

Hernæst er det planen at forøge antallet af protoner per bundt med mindst 70% og samtidigt fokusere dem mere på kollisionspunktet. Det er ikke noget man bare gør, for acceleratoren opererer selvfølgelig allerede med det maximale antal protoner, der kan lade sig gøre uden at Coulomb-kræfter blæser de kolliderende bundter op så partiklerne mistes. Man kan undgå dette ved f.eks. at forøge den lille vinkel hvorunder bundterne støder sammen, så de hurtigere end nu bliver adskilt fra hinanden igen. Men alle sådanne tiltag kræver en ombygning af acceleratorelementerne omkring kollisionspunktet. Tætheden af partikler, som strømmer ud i detektorerne ved hver kollision af bundterne, vil også forøges enormt (ca. en faktor ti), hvilket kræver en ombygning af de detektordele, der er tættest på strålerøret. Alligevel vil en opgradering af luminositeten være en betydeligt mindre bekostelig sag end en opgradering af

energien og det er så hvad CERN satser på. Den planlagte opgradering af LHC til en Super-LHC (SLHC) forventes at starte omkring 2012-14.

Fysik gevinsten

Hvad kan man få ud af en opgradering? Idéen er at klemme det sidste ud af acceleratoren. Antag at Higgs bosonen er fundet. Så vil en opgradering bedre kunne bestemme dens koblinger til fermioner og gauge-bosoner, såvel som etablere dens *skalare* natur, den overmåde vigtige egenskab af nul spin. Uden sådanne målinger vil der altid være tvivl om, hvad det egentligt er, man har fundet.

Ydermere vil fundet af en Higgs på 100 GeV skalaen automatisk kræve en udvidelse af standardmodellen med ny fysik, såsom super-symmetri, ekstra dimensioner eller andre nye symmetrier, som f.eks. kunne give sig udtryk i eksistensen af nye generationer af tunge gauge-bosoner. Alle disse teorier vil som typisk signatur have en ny partikel, som jo må være meget tung idet den endnu ikke er set. I så fald vil en energiopgradering være mere effektiv end en luminositetsopgradering til at finde partiklen.

Men en luminositetsopgradering vil dog kunne udvide grænserne med små 30%. Det er faktisk signifikant, idet man naturligt også ønsker at den nye partikel skal udpege forklaringen på det mørke stof, som åbenbart udgør seks gange mere af vores univers end det stof som stjerner og bedstemødre er lavet af, dvs. standardmodellens stof. Massen af de elementarpartikler, som udgør det mørke stof, er nemlig begrænset ovenfra af astrofysiske observationer, såsom den kosmiske mikrobølgestråling. Samtidigt er det sådan, at hvis de nye partikler er for tunge, kan de ikke reparere på de logiske problemer i standardmodellen, som oprindeligt motiverede idéen om deres eksistens. Alt dette er for at sige at en 30% udvidelse af grænserne er ikke til at kimse af.

Antag så, at Higgs bosonen ikke er fundet. I så fald skal standardmodellen skrottes, men ny fysik (nye stærke vekselvirkninger mellem gauge-bosoner) vil dukke op på en energiskala af nogle få TeV, medmindre man da også skal skrotte kvantemekanikken. En luminositetsopgradering ville f.eks. afsløre tilstedeværelsen af en resonans ved 2 TeV i spredningen af tunge vektorbosoner, som ellers ikke ville være synlig. Igen vil en energiopgradering være endnu bedre, men en luminositetsopgradering sandsynligvis god nok.

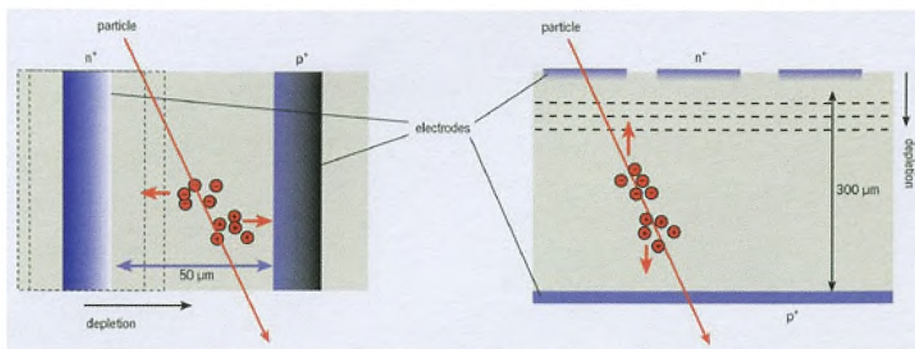
Detektor opgraderinger

Efter 5-10 års kørsel vil de indre detektorer, der kan genkende spor af elektrisk ladede partikler og måle deres impuls ud fra deres afbøjning i et magnetfelt, være stærkt beskadiget af stråling og stå til udskiftning. Men selve teknologien skal også fornyes, idet der ved SLHC vil være for mange tilfælde af to partikler der rammer den samme kanal og for mange strålingsskader med den eksisterende teknologi. Tætheden af sensorer må bringes til at matche den forøgede tæthed af partikler og strålingshårdheden skal forøges. Det er også

målsætninger som er af meget stor interesse for rumteknologien og for medicinsk diagnostik.

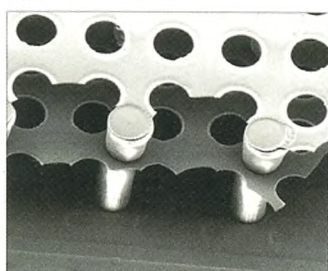
En af idéerne til udskiftning af de nuværende silicium sensorer er at begrave de n- og p-dopede områder i en tredimensional (3D) struktur dybt nede i silicium

materialet. Det forøger strålingshårdheden at gå til 3D, idet afstanden mellem elektroderne er meget mindre end i den traditionelle 2D struktur (se figur 4), hvilket forbedrer opsamlingen af ladninger på trods af "fælder" skabt af den intense stråling.



Figur 4. Til venstre ses skematisk en ny 3D silicium detektor hvor elektroderne er anbragt som mikroskopiske stave nede i "bulk" materialet i stedet for på overfladen som i det traditionelle 2D design til højre. Dette giver en kortere driftlængde for de frigjorte elektron-hulpar – og dermed mindre chance for at ramme en fælde. Resultatet bliver et bedre signal.

En anden genial idé er de såkaldte GEM (gas electron multiplier) og *MicroMegas*. Det er små gasfyldte detektorer, hvor ladede partikler, som passerer forbi, frigør elektroner fra gas-atomerne. Men i stedet for at multiplicere disse elektroner ved en højspændt tråd ligesom i en Geigertæller, så bruger man et fint gitter, som multiplicerer ionisationselektronen op til en byge af elektroner med samme størrelse som hullerne i gitteret (se figur 5). Denne byge kan læses ud med en 2D silicium pixel detektor anbragt nedenunder hullerne, hvor størrelsen af pixel-elektroderne er sammenlignelig med hullerne. Dette giver en stedsbestemmelse med under en tiendedel millimeters nøjagtighed på rigtigt mange punkter på partiklens bane, men uden at skulle bruge nær så meget silicium, som hvis partikelkoordinaterne skulle leveres af silicium-detektorer alene uden gasforstærkning.



Figur 5. Ved hjælp af moderne mikromekaniske metoder lånt fra elektronikindustrien kan man lave en "Geigertæller" der måler to-dimensionale koordinater på en ladet partikel, som passerer forbi, med en præcision ned til 20 mikron, som er den typiske diameter af hullerne.

En udskiftning af de indre detektorer (og også visse ændringer i de ydre detektorer) til at klare den stærkt forøgede partikelstråling vil være nødvendig, men synes også at være indenfor rækkevidde fra de igangværende R&D projekter.

Andre idéer

CERN satser i første omgang på denne opgradering, som kan træde i kraft omkring 2017. I flere år har der foregået R&D projekter og et egentligt forslag til

CERNs Council vil blive gjort færdigt i 2009. Men der er mange andre idéer på banen, som til en vis grad er konkurrenter til midlerne. Det drejer sig først og fremmest om meget spændende projekter, der sigter på bygge en lineær elektron-positron collider, som i detaljer vil kunne studere de antydninger af ny fysik, der antages at blive opdaget ved LHC. Et internationalt projekt, International Linear Collider (ILC), er i design-fasen og kunne være operationsdygtigt omkring samme tidspunkt som SLHC. Projektet er dog noget hæmmet af nogle store budgetnedskæringer i USA og Storbritannien for et år siden. Et andet projekt er CERN-drevet. Det hedder Compact Linear Collider (CLIC) og vil komme noget senere på banen, men til gengæld med meget højere kollisionseenergi. Der er endvidere parallelle udviklingsspor af maskiner til særlige studier. Det gælder en fremtidig "neutrino-fabrik", en "super b-kvark-fabrik", samt muligheden for at lave LHC om til en elektron-proton collider. Vi vil kigge nærmere på mulighederne for en fremtidig, post-LHC, udvidelse af energigrænsen, i senere numre af KVANT.

Litteratur

- [1] Fysik-motivation for SLHC og planer i ATLAS: <http://atlas.web.cern.ch/GROUPS/UPGRADES/>
- [2] Micropattern detektorer: <http://cerncourier.com/cws/article/cern/35458> (brug iøvrigt search faciliteten i CERN Courier til at finde mange andre artikler)



Peter H. Hansen er lektor ved Niels Bohr Institutet. Han har arbejdet i USA med elastisk protonspredning, siden ved CERNs SPS collider, som opdagede W- og Z-bosonerne, herefter ved LEP med fokus på hadronfysik og afprøvning af den elektrosvage teori og nu ved ATLAS-eksperimentet ved LHC, hvor han beskæftiger sig med rekonstruktionen af ladede spor i den indre detektor.

Kulstof-14 datering af stenalderens keramik

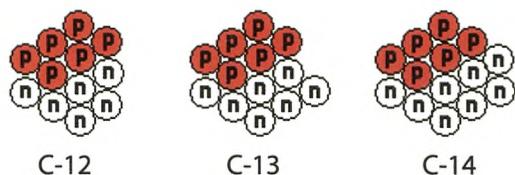
Hvordan brændt mad, gamle fisk og en accelerator hænger sammen

Af Bente Philippsen, AMS ^{14}C Dateringscenter, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Fra den yngre stenalder findes der ofte lerkar med brændte madrester i udgravninger i Danmark og det nordlige Tyskland. Når man vil datere dem med kulstof-14 metoden, er der en mulig fejkilde. Fisk, som kommer fra en å med hårdt vand, indeholder "gammelt" kulstof, så man får en forkert, for høj alder ved dateringen af fisken. Det samme problem kan opstå ved dateringen af madskorper på lerkar, hvis fisk har været kogt i dem. Jeg kigger nærmere på fastbrændingsprocessen og prøver at finde ud af, om den ældste keramik fra Schleswig-Holstein virkelig er så gammel.

Kulstof-14 datering

Der findes tre isotoper af kulstof: ^{12}C , ^{13}C og ^{14}C . Isotoper er forskellige typer af et grundstof, som kun er forskellige med hensyn til vægten. De har alle det samme antal protoner, og dermed næsten de samme kemiske egenskaber. Det er antallet af neutroner, som gør, at de vejer lidt forskelligt. På figur 1 ses kulstofs isotoper med 6 protoner og henholdsvis 6, 7 og 8 neutroner.

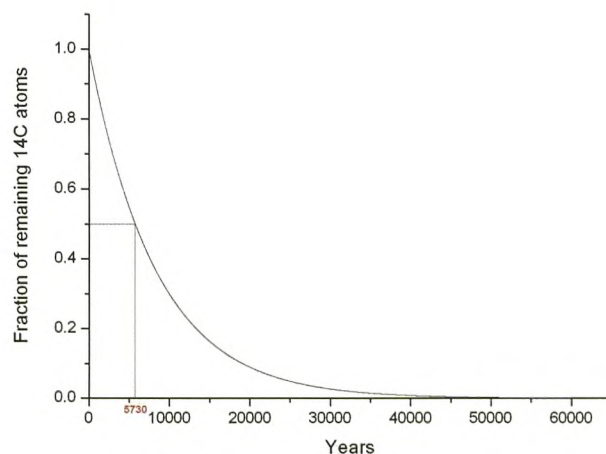


Figur 1. Kulstofs isotoper.

Koncentrationerne af ^{12}C , ^{13}C og ^{14}C på Jorden er meget forskellige: Der er 98,9% ^{12}C og 1,1% ^{13}C . ^{14}C forekommer kun i en koncentration af ca. 10^{-12} . ^{12}C og ^{13}C er stabile, mens ^{14}C er radioaktiv med en halveringstid på 5730 år. Alligevel er der en næsten konstant koncentration af ^{14}C i atmosfæren, og det skyldes den konstante produktion af ^{14}C fra kosmisk stråling. Planter optager CO_2 fra atmosfæren via fotosyntesen, og dermed optager de også ^{14}C . Mennesker eller dyr, som spiser planterne (eller andre dyr, som har spist planter), optager dermed også ^{14}C . Man siger derfor, at planter, dyr og mennesker er i ^{14}C -ligevægt med atmosfæren.

Når optagelsen af ^{14}C slutter (ved planten, dyret eller menneskets død), så henfalder ^{14}C i kroppen med halveringstiden på 5730 år. Det betyder, at efter 5730 år er der kun halvdelen af den oprindelige ^{14}C koncentration tilbage. Efter 11.460 år er det kun en fjerdedel, efter 17.190 år 1/8, efter 22.920 år 1/16, og så videre. Henfaldet af ^{14}C er vist i figur 2.

For at datere, måler man ^{14}C -koncentrationen i prøven og sammenligner det med den oprindelige koncentration. På figur 2 kan man aflæse, hvilken alder der svarer til hvilken ^{14}C -koncentration (^{14}C -koncentrationen i figur 2 er målt i forhold til den oprindelige ^{14}C -koncentration).



Figur 2. Henfaldsloven.

Målingen foregår med et accelerator-massespektrometer. En partikelaccelerator accelererer kulstof-ioner til høje hastigheder, hvorefter et magnetfelt afbøjer dem: De lettere kulstof-isotoper bliver stærkere afbøjet, så man kan sortere isotoperne med magneten. Derefter måler man antallet af de forskellige isotoper og regner ^{14}C -koncentrationen ud. Figur 3 viser accelerator-massespektrometret (den orange tank i baggrunden), magneten (også orange, til venstre) og detektorerne (til højre).



Figur 3. Acceleratoren til ^{14}C -målinger på Aarhus Universitet.

Reservoireffekter

Som tidligere forklaret, sammenligner man den målte ^{14}C -koncentration med atmosfærens ^{14}C -koncentration for at beregne prøvens alder. Men hvad nu, hvis prøven ikke har optaget kulstof fra atmosfæren? Vandplanter fx. optager kulstof fra det opløste CO_2 i vandet. Fisk optager kulstof via deres føde, og det er mest vandplanter eller andre dyr som lever af vandplanter. Problemet er nu, at kulstof i vandet kan have en anden alder end kulstoffet i atmosfæren. Det kaldes reservoir-effekten, fordi

prøver som optager kulstof fra et andet reservoir end atmosfæren kan have en anden kulstof-14 (^{14}C) alder end de ville have hvis de optog CO_2 fra atmosfæren.

Den væsentligste kilde for en ændret ^{14}C -alder i ferskvand er kalk: Nedbør som løber gennem sedimenterne kan opløse kalk. Kalk er en gammel bjergart og den mængde ^{14}C den indeholder er henfaldet i løbet af årtusinderne. Vand som indeholder en betydelig mængde opløst kalk indeholder derfor en betydelig mængde gammel CO_2 , som blandes med vandets nutidige CO_2 . Resultatet er, at vandets CO_2 har en gennemsnitlige alder af nogle hundrede år, hvis der er opløst kalk. Vand med en stor mængde af opløst kalk kaldes "hårdt vand", og derfor hedder denne reservoir-effekt også "hårdtvandseffekten".

Kulstof-14 datering af keramik

Keramik er en af de vigtigste fundgrupper for arkæologerne. Keramikstil eller type bruges ofte til klassifikation af kulturer, og keramik er et sikkert tegn på menneskelig aktivitet i fortiden. Hvis man kan datere (dvs. aldersbestemme) et stykke keramik, så har man en mulighed for at datere, hvornår mennesker levede på det sted.

Dateringen af keramik med kulstof-14 metoden er vanskelig: der er ikke meget kulstof i leret, og det kulstof som findes i leret kan stamme fra planter som døde mange århundreder før lerkarret blev lavet. Heldigvis fandtes der også glemsomme kokke i stenalderen: nogle gange brændte maden fast i lerkarret. Da lerkarrene med fastbrændte madskorper ofte blev smidt væk, kan arkæologer i dag finde dem. En madskorpe er organisk materiale, og derfor indeholder den kulstof, som kan bruges til datering. Man kan så datere det tidspunkt, hvor lerkarret sidst blev brugt.

Metoden virker helt fint, men under en forudsætning: at stenalderfolk kun lavede "terrestrisk" mad i deres lerkar, dvs. landplanter og kød fra landdyr. Som jeg nævnte før, kan fisk og andre ting fra ferskvand have et lavere ^{14}C -indhold end samtidige landplanter og derfor have "for høje aldre", når man daterer dem. Hvad nu, hvis folk i stenalderen kogte (og brændte) fisk i lerkarret? En madskorpe fra en "gammel" fisk skulle også have den for høje alder. Det betyder nu: en madskorpe, som vi udgraver og daterer, kan enten være påvirket af ferskvandreservoireffekten – eller ikke. Hvis man måler en alder på 5000 år for en madskorpe, så kan det være den sande alder, hvis der blev kogt terrestrisk mad i karret. Men det kunne også være, at der blev kogt fisk i karret – så ville den sande alder være nogle hundrede år yngre end det man har målt.

For at finde den rigtige alder, skal man altså have en metode for at finde ud af, hvilken slags mad der blev kogt i stenalderen. Det er ikke nemt, fordi de fleste madskorper ser ens ud, og det er meget sjældent der er fx. en fastbrændt fiskeknogle eller skæl. Derfor er det nødvendigt at finde en metode til at skelne mellem en fiskemadskorpe og andre madskorper. For at udvikle og teste sådan en metode, har vi lavet nogle eksperimenter.

Målinger af moderne materiale

For at finde ud af, om hårdtvandseffekten er mulig i de to åer blev der målt på vandets og fiskens ^{14}C -indhold. Det kan tydeligt ses, at vandet i begge åer indeholder meget gammelt kulstof: Trave vand er 1630 år "gammel", og Alster vand er endnu ældre: 2450 år. Fiskene er ikke helt så gamle, kun 720 år (Trave) og 650 år (Alster). Grunden til det kan være at fisken vi målte på (skalle), ikke kun spiser planter og dyr fra åen, men også fx. insekter eller plantedele som er faldet i vandet.



(a) Trave vand: 1630 ± 30 år



(b) Alster vand: 2450 ± 45 år



(c) Trave fisk: 720 ± 45 år



(d) Alster snegl: 870 ± 45 år

Figur 4. Prøver fra Trave og Alster og deres aldre.

Eksperimenter

For at teste, om ferskvandseffekten er mulig i madskorper, har vi lavet nogle eksperimenter. Eksperimenternes princip er ret enkelt: lav mad i et lerkar, som man gjorde i stenalderen, og lad det brænde fast. Men i detaljerne bliver det lidt mere kompliceret. For det første skal man have den samme type gryder som man havde i stenalderen. Heldigvis er Harm Paulsen, eksperimentel arkæolog fra Slesvig, ekspert i at lave kopier af arkæologiske fund, så han kunne også lave lerkar på gammeldags manér.

Brændingen af lerkarrene foregik også på den samme måde som i stenalderen, nemlig i et bål. I figur 5 er processen vist. Det er vigtigt, at man brænder lerkarrene meget forsigtigt, så de ikke knækker. Man skal sørge for, at der ikke opstår høje temperaturforskelle under brændingsprocessen. Derfor begynder man med et bål til opvarmning af brændepladsen. Det trækker man fra hinanden og stiller lerkarrene i midten. Nu skubber man bålet langsomt tættere på karrene og forstørrelser det. Derefter venter man, til bålet er brændt ned, og tager karrene ud. Bålet havde en temperatur på cirka 700°C , og det var varmt nok til at brænde lerkarrene hårde. De er også vandtætte, selvom man ikke glaserer dem.



(a) Lerkarrene bliver langsomt varmet op



(b) Brænding af lerkarrene

Figur 5. Brænding af spidsbundne lerkar. Fotos af Aikaterini Glykou.

I figur 6 ses fremstillingen af madskorperne. Vi fandt ud af, at de spidsbundne lerkar var velegnede til kogning, men det tager rigtig lang tid inden mad brænder fast. For at starte dannelsen af en madskorpe måtte vi bruge langt mere brændsel end ved kogning, og det tog mere end en time før madskorpen blev dannet. Det må altså have været muligt at koge i stenalderen uden at lave madskorper.



(a) Fisk varmes



(b) Fiskemadskorpe



(c) Kødsuppe koger



(d) Kødmadskorpe

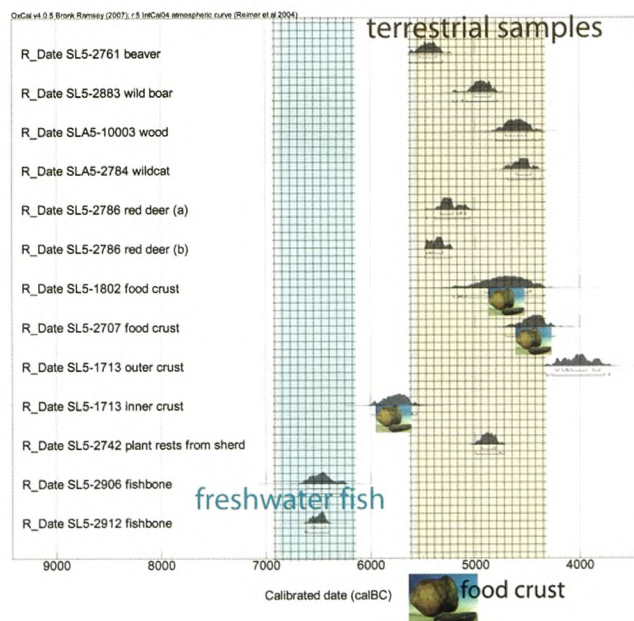
Figur 6. Kogning og fremstilling af madskorper fra fisk (a-b) og kød (c-d).

Men hvorfor findes der alligevel så mange potteskår med brændte madrester? Det er nemt at forstå hvis man forestiller sig det følgende: I en gruppe stenalderfolk skete det måske kun én gang om året, at noget mad brændte fast. Så blev gryden smidt ud. Hvis man nu forestiller sig, at en boplads var beboet i 50 år, så betyder det at der kom 50 gryder med madskorper sammen i den store affaldsbunke. Og hvis hver gryde gik i stykker (måske omkring 20 skår per gryde) – så har man allerede 1000 potteskår med madskorper.

De “moderne” madskorper blev nu dateret. Vi fandt ud af, at vildsvinemadskorper har en alder på 3 ± 2 år i forhold til atmosfæren, hvilket passer meget godt med forventningerne. Det tager nemlig cirka et år, inden atmosfærisk CO_2 er optaget af planter og dyr. Derudover var kødet frossent, da vi købte det, så det var sikkert allerede nogle måneder gammelt. Det er helt anderledes med fiske-madskorpen, som har en alder af omkring 760 år – det er omkring den samme alder som fisken havde. Det er dermed bevist, at hårdtvandseffekten kan findes i madskorper fra fisk.

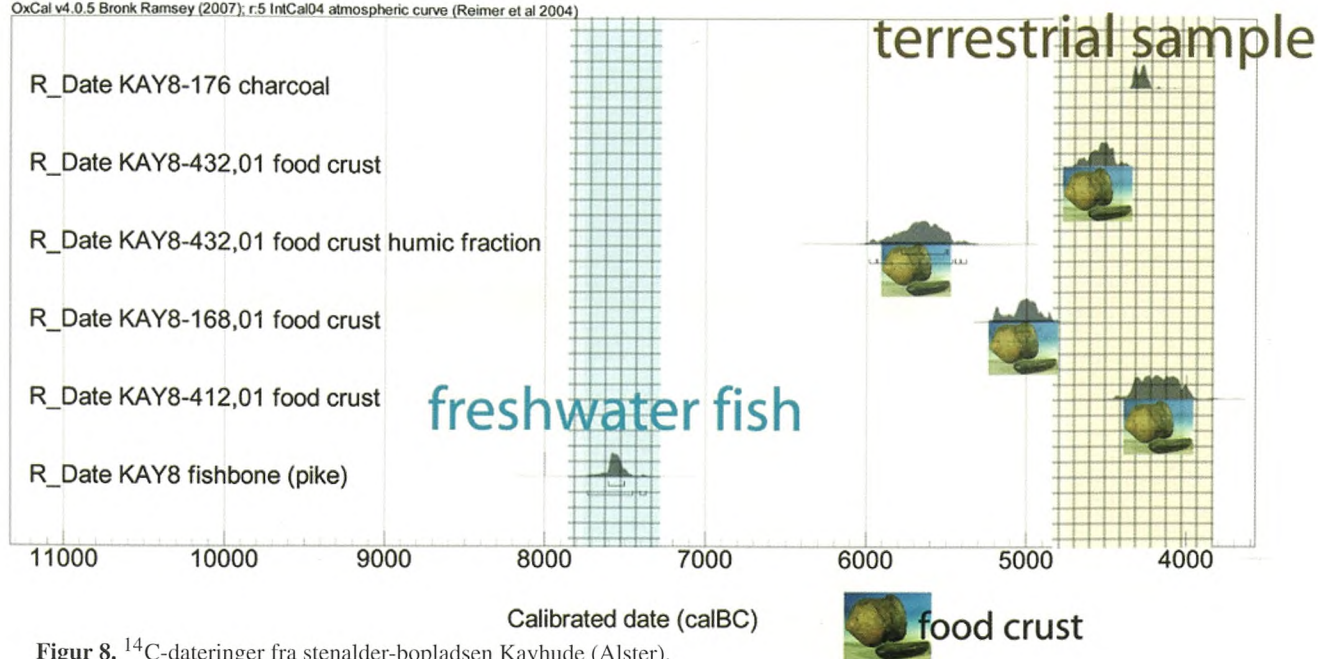
Arkæologisk materiale

Nu skal vi se på, om der også er en hårdtvandseffekt i arkæologiske madskorper. Derfor har vi dateret prøver fra to stenalder-boplads: Schlamersdorf ved åen Trave og Kayhude ved åen Alster.



Figur 7. ^{14}C -dateringer fra stenalder-bopladsen Schlamersdorf (Trave).

Figurene 7 og 8 viser dateringerne. På x-aksen er alderen i år før Kristi fødsel, og der er tegnet sandsynlighedsfordelinger for de forskellige prøvers aldre (lige som det er med alle fysiske målinger, får vi ikke én præcis værdi, men sandsynlighedsfordelinger omkring den sande værdi). Det kan tydeligt ses, at der er en stor aldersforskel mellem ferskvandsfisk (“freshwater fish”) og terrestriske prøver (“terrestrial samples”). Der har altså været en tydelig hårdtvandseffekt allerede i stenalderen.



Figur 8. ^{14}C -dateringer fra stenalder-bopladsen Kayhude (Alster).

Madskorperne ("food crust"), som er markeret med billeder af Ertebølle-keramik, har cirka den samme alder som terrestriske prøver, eller de er lidt ældre. Der er ingen madskorpe, som har en ^{14}C -alder så høj som fiskenes, så man kan konkludere, at madskorperne ikke kun er lavet af fisk. Alligevel ved vi nu, at man skal passe på med datering af madskorper, fordi de åbenbart kan have en ^{14}C -alder, som er for høj i forhold til den virkelige alder.

Litteratur

- [1] A. Fischer og J. Heinemeier (2003) Freshwater Reservoir Effect in ^{14}C Dates of Food Residue on Pottery. *Radiocarbon* **45**(3): 449-466
- [2] J. Heinemeier, H. L. Nielsen og N. Rud (1992) Kulstof-14 datering med acceleratorer. *Naturens Verden* **371**
- [3] H. Levi (1952) Radioaktivt kulstof i naturen og C-14 dateringen. *Naturens Verden* **196**
- [4] Bente Philippsen, Henrik Kjeldsen, Sönke Hartz, Harm Paulsen, Ingo Clausen, og Jan Heinemeier, The hard-water effect in AMS ^{14}C dating of food crusts on pottery, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* (submitted).



Bente Philippsen er ph.d.-studerende i AMS ^{14}C laboratoriet ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. www.C14.dk.

Planetkalender 2009 – forklaring

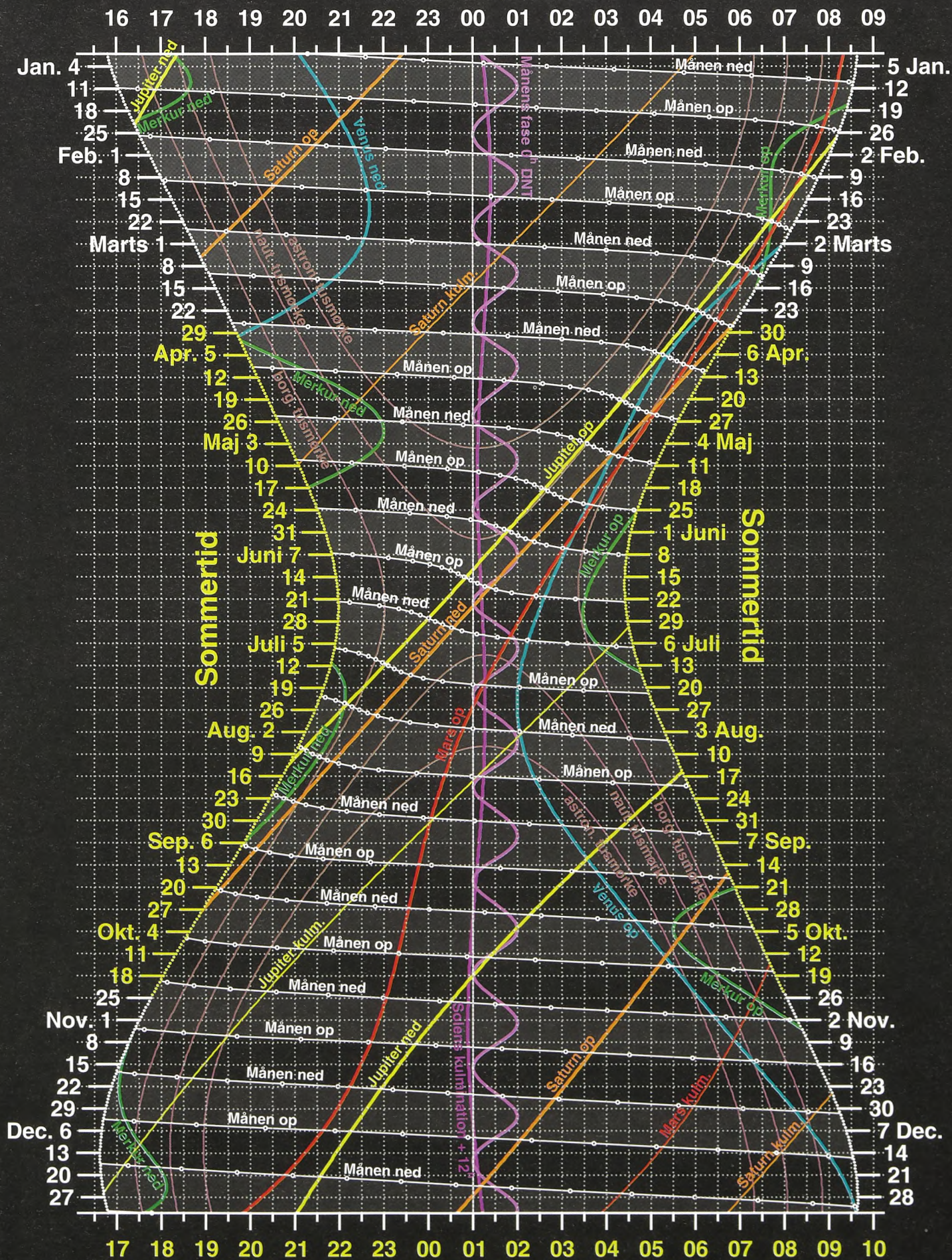
På næste side er der – som tidligere år – trykt en "Planetkalender for København 2009", udregnet af Martin Götz, med overblik over en række astronomiske forhold, f.eks. hvornår de enkelte planeter er synlige og om Månen eventuelt forstyrrer, samt:

- Opgangs- og nedgangstider for Solen, Månen og planeterne, der er synlige med det blotte øje
- Kulminationstidspunkter for planeterne
- Slutningen og begyndelsen for det borgerlige, nautiske og astronomiske tusmørke, når Solen henholdsvis er 6° , 12° og 18° under horisonten
- Solens kulmination + 12 timer (f.eks. aflæses kl. 0:15 i natten mellem d. 4.1. til d. 5.1. – så kulminerer Solen kl. 12:15 d. 4.1.)
- Månens fase (kl. 0:00 DNT står for nymåne, kl. 1:00 DNT for fuldmåne og kl. 0:30 DNT for halvmånefaserne).

I tiden 30. marts - 25. oktober gælder dansk sommertid (DST), hvor tiderne på den nederste tidsskala skal anvendes og Solens nedgangs- og opgangstider er markeret med gule prikker. Resten af året gælder dansk normaltid (DNT), hvor den øverste tidsskala bruges og Solens nedgangs- og opgangstider er markeret med hvide prikker. Kalenderen kan hentes elektronisk med uddybende forklaring på web-adressen: <http://www.planetkalender.tk>

Planetkalender for København 2009

Dansk Normaltid



Stjernehimlen



Billederne på denne side er optaget af den græske astrofotograf Anthony Ayiomamitis, som tidligere har leveret billeder til KVANT. Øverst til venstre ses en mosaik af Månen under den delvise formørkelse 16. august i år. Man fornemmer tydeligt, at Månen bevæger sig gennem Jordens skygge – fra højre mod venstre. Øverst til højre ses Månen ved maksimal formørkelse.

Til højre ses stjernespor fra circumpolare stjerner, med Nordstjernen kun omkring 1° fra centrum. Ved lang eksponeringstid, som her godt 5 timer, trækkes stjernerne ud i et buestykke idet Jorden roterer. Der er eksponeret 50 gange 6 min., med en pause imellem hvert billede på ca. 7 sekunder. Man kan ane de mørke mellemrum hvor kameraet har været lukket. Måler man vinklen mellem starten og slutningen af et stort stjernespor kan man bestemme Jordens rotationstid i forhold til stjernerne: 23 timer og 56 min.

Nederst til venstre ses "Barnards mørke tåge", B164, som er en sky med molekyler og støvkorn der absorberer lyset fra bagvedliggende stjerner.

Nederst til højre ses den klare stjerne Mirach (β -And) i stjernebilledet Andromeda og den elliptiske galakse NGC 404 lidt ovenfor til højre. Afstanden til galaksen – der også kaldes "Mirachs spøgelse" – er lidt over 10 mio. lysår. Se flere billeder på Anthonys hjemmeside: www.perseus.gr



Galileo Galilei

Af Marie-Louise Hammer

1. januar 2009 blændes der op for Det Internationale Astronomiår, som indvarslet af astrofysikeren Kristian Pedersen i KVANT marts 2008. Året er blevet udnævnt af FN, fordi det netop i 2009 er 400 år siden, at Galilei rettede sit teleskop mod nattehimmelen. KVANT tyvstarter her Det Internationale Astronomiår 2009 ved at rette blikket mod Galilei.

Kannikken

Den 5. april 1631 fik Galileo Galilei anlagt tonsur. Selve handlingen blev udført af biskop Alessandro Strozzi. Derved blev det synligt for enhver, at Galilei var indtrådt i de klerikales rækker og således blevet en gejstlig person. Årsagen var uhyre pragmatisk. Dermed er dog ikke sagt, at Galilei var en overfladisk kristen, tværtimod ønskede han livet igennem at være en god katolik. Urban 8., florentineren kardinal Maffeo Barberini der siden 1623 havde været pave i Rom, havde via Galilei tilbudt dennes søn Vincenzio at blive kannik ved katedralen i Brescia. Dette betød i realiteten, at Vincenzio resten af sit liv ville oppebære en slags pension i form af et årligt honorar. Alt hvad der forventedes af ham var, at han anlagde tonsur, men dette nægtede han pure at gøre. Galilei forsøgte da at lade pavens tilbud i stedet gælde en nevø, der dog også afslog tonsuren, og senere sin nyfødte sønnesøn. Under de langstrakte forhandlinger blev endnu et kannikeembede ledigt. Denne gang ved katedralen i Pisa, Galileis fødeby. Altså netop den katedral, hvis klokketårn er det berømte Skæve Tårn. Galilei søgte det og modtog pavens udnævnelse i et brev dateret 12. februar 1630, og i løbet af et årstid blev det afklaret, at ingen af Galileis nævnte slægtninge ville kunne opfylde betingelsen for at blive kannik i Brescia. Men Galilei selv kunne få overdraget også dette embede, hvilket derefter skete. De to kannikeembeder gav ham tilsammen en årlig merindtægt svarende til en uddannet håndværkers årsløn.



Figur 1. Lucas Cranach den Ældres kobberstik af Martin Luther fra 1520. Som gejstlig bar han endnu tonsur og augustinerens ordensdragt, selv om han i 1517 havde offentliggjort sine 95 teser i Wittenberg.

Galileiaffæren

Alt dette foregik ganske uddramatisk, men hvordan kunne det så gå Galilei, der jo var en oprigtig katolik, så ilde blot to år efter. Alle og enhver ved jo, at Galilei den 22. juni 1633 over for inkquisitionen i Rom måtte afsværge sin kopernikanske overbevisning om, at Jorden roterer såvel om sin egen akse som om Solen. Samme dag (22. juni 1633) blev han idømt en livsvarig fængselsstraf, der dog blev ændret til husarrest. Samt en gang om ugen i tre år at fremsige de syv bodssalmer, en opgave som hans ældste datter, nonnen Maria Celeste (født år 1600), for øvrigt påtog sig. Hun døde dog af dysenteri allerede 1. april 1634 til faderens store sorg. Han blev tillige frataget retten til at publicere. Og alt det overgik Galilei, selv om han var borger i storhertugdømmet Toscana, og altså ikke i Pavestaten¹.

Denne uhørte magtmanifestation er lige siden blevet brugt som selve indbegrebet af uforligeligheden af tro og viden(skab). Galileiaffæren, som den kaldes, er yderst kompliceret og bliver vel aldrig helt afklaret, selv om mange af dokumenterne trods en omtumlet tilværelse har overlevet. Således har Galileiaffærens dokumenter på Napoleons foranledning været i Paris i første halvdel af 1800-tallet. Og nåede først tilbage til Vatikanets arkiver i 1843.

De epokegørende opdagelser

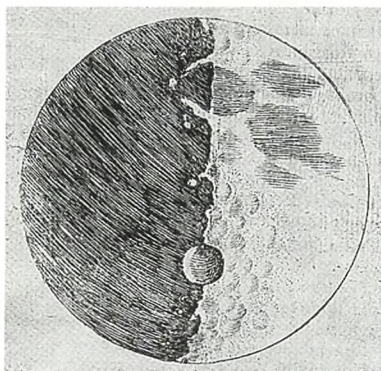
Dramaet har mange facetter og optakten – Galileis mange astronomiske opdagelser begyndende i de sidste måneder af 1609 – må have været forrygende at opleve. De kom så hurtigt efter hinanden, at man ikke tidligere havde oplevet noget lignende, og i løbet af halvandet år var han den mest fejrede naturfilosof (= naturvidenskabsmand) i Europa. En begejstret kardinal mente endog, at havde Galilei levet i det gamle Rom, havde man opstillet en statue af ham på Capitol.

Galileo Galilei blev født den 15. februar 1564, altså tre dage før Michelangelo for sidste gang lukkede sine øjne. Han blev en hovedperson i 1600-tallets videnskabelige revolution, der omformede middelalderens naturfilosofi til klassisk fysik, og historien om, hvordan Galilei bliver opmærksom på teleskopet i juli 1609 og lynhurtigt forbedrer det, samt hvordan han demonstrerer det som et militært instrument i Venezia i august

¹Toscana var ikke under pavens jurisdiktion, men paven havde så stor politisk magt, at storhertugen i Toscana ikke turde modsætte sig retssagen i Rom, selv om han satte stor pris på Galilei.

samme år for især at opnå højere løn (hvilket lykkedes i første omgang), er ofte fortalt.

Men Venezias endelige afvisning af hans teleskop fik ham til at fordybe sig i dets andre muligheder, samtidig med han kontinuerligt udviklede det yderligere. Og en novemberaften i 1609 løftede Galilei sit teleskop mod himlen og iagttog Månen. Stor var hans forbløffelse, da han erkendte, at den – hvad allerede Plutarch (ca. 45-120) havde ymtet – har bjerge og sletter.



Figur 2. Galilei var en habil tegner. Her én af hans graverede tegninger fra *Sidereus Nuncius* (1610) af Månen, der viser dens bjerge og sletter.

I de efterfølgende aftener og nætter iagttog han stjernebillederne og undredes over, at antallet af stjerner i den enkelte konstellation var langt større end det blotte øje afslører. Dette gjaldt også Mælkevejen, der opløstes i myriader af stjerner. Og den 7. januar 1610 så han så om aftenen pludselig tre små klare stjerner nær Jupiter – to øst for og en vest for. At de var måner strejfede end ikke hans tanke, men han iagttog dem med stigende interesse de følgende aftener, fordi de flyttede sig, og den 13. januar dukkede der så en fjerde op. I mellemtiden var han begyndt at tænke på måner, men den næste aften var himlen overskyet, og først den 15. januar var himlen atter klar. Vest for Jupiter stod de fire himmellegemer, som vi nu kalder de Galileiske Måner. At de alle fire bevæger sig rundt om Jupiter blev bekræftet ved natlige observationer frem til 2. marts.



Figur 3. Én af Galileis tegninger af Jupiter med dens fire måner.

De tre verdensbilleder

For at forstå Galileis intense flid må man vide, at han levede i en tid, hvor tre verdensbilleder var i spil – det ptolemaiske fra 100-tallet, det kopernikanske fra 1543 og så det tychoniske (fremlagt af Tycho Brahe) fra 1588, som den katolske kirkes astronomiske eksperter, de yderst veluddannede jesuitter, ud fra den teologiske dogmatik de forvaltede, fandt mest rimeligt i relation til den – efter datidens forhold – avancerede matematiske viden de besad. I det ældste og yngste verdensbillede er Jorden selve Universets centrum og altså ikke en

planet (den græske betegnelse for en vandrestjerne), de er således geocentriske – mens det kopernikanske opererer med Solen som centrum for planeterne (herunder Jordens) baner og derfor er heliocentrisk.

Galilei gik af mange grunde ind for det heliocentriske verdensbillede og han indså nu, at opdagelsen af Jupiters måner var et bevis på, at det man indtil da havde anset for umuligt – at en planet kunne bevæge sig om Universets centrum med et himmellegeme som Månen kredsende om sig – ikke længere var en hindring for tanken. Når planeten Jupiter kunne kredse om Universets centrum med fire måner om sig, kunne Jorden med sin enlige måne klare det samme.

Drømmen opfyldes

Siden 1592 havde Galilei været ansat som professor i matematik på universitetet i Padova, der hørte under republikken Venezia, men han havde en drøm om at leve som forsker uden undervisningspligt. En luksus som også dengang kun var forundt de få. Et sådant ønskejob mente han at kunne opnå hos medicieren Cosimo 2., der i slutningen af 1609 som 19-årig – efter faderens død – havde overtaget titlen som storhertug af Toscana og som havde været hans elev.



Figur 4. Titelbladet til *Sidereus Nuncius* (Budskab om stjernerne) som Galilei udgav i 1610.

Derfor udgav Galilei i marts 1610 i Venezia *Sidereus Nuncius* (Budskab om stjernerne, dansk 1999), en lille bog på 56 sider på latin, og dedikerede allerede på titelbladet de nyfundne måner til Cosimo 2. (og hans tre brødre) ved at kalde dem *Medicea Sidera* (de Mediciske Stjerner). Heri præsenterede han de sensationelle iagttagelser på himlen, han indtil da havde gjort, og i løbet af få uger var hans opdagelser og navn kendt over hele Europa.

Galilei benyttede sin succes til allerede den 7. maj i et brev til Toscanas 'statsminister' Belisario Vinta at foreslå, at han blev ansat som Cosimo 2.s hoffilosof og matematiker, og den 10. juli underskrev storhertugen Galileis udnævnelse til foruden at være tilknyttet hoffet

i de ønskede positioner også at være professor i matematik uden administrations- og undervisningspligter ved universitetet i Pisa og det til en fyrstelig løn, 50 procent større end statsministeren's. Galilei havde fået opfyldt sin drøm.

Galilei havde i mellemtiden fortsat sine systematiske observationer og kunne den 25. juli notere, at Saturn tilsyneladende bestod af tre stjerner. Netop denne planet skulle vise sig at blive hans problembarn, og først i 1650'erne løste hollænderen Christiaan Huygens (1629-95) foreløbigt gåden, idet han efter nøje studier med et kraftigere teleskop foreslog, at Saturn var omgivet af en tynd flad ring. Efter at Galilei den 12. september havde bosat sig i Firenze, iagttog han fra oktober og året ud, at Venus har faser ligesom Månen.

Galilei og Rom

Galilei brød sig ikke om at rejse og forlod aldrig Italien eller rejste uden for en radius af højst 300 km fra Firenze. Alligevel nåede han at være i Rom i alt seks gange. Første gang var i efteråret 1587, hvor han tog derned på eget initiativ for at præsentere sig især for matematikeren Christopher Clavius (1538-1612) på Collegio Romano, jesuitternes 'universitet' grundlagt 1551. Jesuitterne var den katolske kirkes mest lærde og velorienterede munkeorden og besøget lykkedes, Galilei vandt Clavius' venskab, hvilket var en stor hjælp for ham i hans videre akademiske karriere.

Mod slutningen af 1610 mente Galilei, at tiden atter var inde til en Romrejse. Denne gang for at få jesuitternes accept af at hans teleskopiske observationer var korrekte og ikke skyldtes eksempelvis fejl i linsernes slibning, som nogle af hans kritikere påstod. Han ansøgte om en sådan rejse i endnu et brev til Belisario Vinta. Den blev hurtigt bevilget, men Galileis dybe modvilje mod rejselivet forsinkede afrejsen, så han forlod først Firenze den 23. marts 1611 og nåede Rom seks dage senere. Undervejs stillede han hver aften sit teleskop op for at følge Jupiters måner.

Dette Rombesøg var et sandt triumftog for Galilei. Han boede på den toscanske ambassade i Palazzo Firenze nær Pantheon og høstede stor anerkendelse for sine opdagelser i såvel lærde som gejstlige kredse, der jo ofte var de samme, og var også i audiens hos pave Paul 5. Under opholdet demonstrerede han sit teleskop, så adskillige nobiliteter kunne opleve dets forunderlighed, og selv fortsatte han sine observationer og inddrog nu også solpletter. Allerede i december 1610 havde englænderen Thomas Harriot (1560-1621) ved hjælp af et teleskop observeret disse mystiske mørke pletter, der tilmed flyttede sig. Dette optog hurtigt den voksende gruppe af teleskopnørder over hele Europa og nu altså også Galilei. Disse solpletter skulle senere vise sig at afsløre, at også Solen roterer om sin akse.

Især to oplevelser i Rom blev af betydning for Galilei. Han blev optaget som det sjette medlem af Accademia dei Lincei (Akademiet for (skarpsynede) lossere), hvis navn associerede til argonauten Lynkeus (der betyder los på græsk) med det eminente syn, som

kunne se gennem alle ting, og var et privat naturvidenskabeligt akademi oprettet i 1603. Og han blev æresdoktor på Collegio Romano.

Dekretet af 5. marts 1616

Endnu tre gange var Galilei i Rom inden den fatale sidste gang, hvor han blev beordret derved af Urban 8., efter at denne havde ladet sine teologiske eksperter nærlæse Galileis mesterværk udgivet på italiensk i Firenze 1632. Oversat til dansk ville titlen lyde *Dialog om de to store verdenssystemer*. Heri fremgår Galileis kopernikanske overbevisning implicit men utvetydigt, og han havde derved forbrudt sig mod den katolske kirkes dekret af 5. marts 1616 om, at det intet sted i skrift (eller tale) bogstaveligt måtte fremgå, at Jorden bevæger sig rundt om den stillestående Sol, fordi der ikke findes belæg for det i Bibelen eller i kirkefædrenes traditionelle tolkning.

På foranledning af inkquisitionen i Rom havde 11 teologiske eksperter uden naturvidenskabelig kompetence i 1616 vurderet essensen af *De revolutionibus orbium coelestium, libri sex* (Om Himmelsfærernes Omløb i Seks Bøger) af Nicolaus Kopernikus (1473-1543), udgivet posthumt i 1543, hvori han fremlægger sit heliocentriske system. Konklusionen af denne vurdering førte til dekretet, der også påbød, at dette skelsættende værk blev taget ud af cirkulation, indtil der var blevet udført korrektioner i samtlige eksemplarer, så de opfyldte dekretet. Disse korrektioner blev dog kun udført i halvdelen af de italienske eksemplarer, det øvrige Europa negligerede stort set påbuddet. Men i den katolske verden måtte man fremover kun betragte det heliocentriske verdensbillede som en hypotese, i dag ville vi sige teoretisk model, til brug for astronomiske beregninger af planeterens stilling.

Skæbneåret og de sidste år

Galilei måtte – efter at have forladt Firenze den 20. januar 1633 – sidde i karantæne ved grænsen mellem Toscana og Pavestaten på grund af pesten, der var blusset op, og ankom derfor først til Rom den 13. februar, to dage før han fyldte 69 år. Her måtte han forholde sig i ro, indtil retssagen med det urimelige udfald blev indledt den 12. april. Først 17. december samme år var Galilei atter hjemme i sin store lejede villa *Il Gioiello* (Juvelen) i Arcetri nær Firenze og måtte derefter leve her i husarrest resten af sit liv.



Figur 5. Portræt af Galilei udført 1636 af Justus Sustermans (1597-1681).

Inden Galilei døde i sit hjem om aftenen den 8. januar 1642, nåede han i 1638 trods publiceringsforbuddet at få udgivet endnu et mesterværk på italiensk, denne gang i Leiden. På dansk ville titlen lyde *Afhandlinger og beviser vedrørende to nye videnskaber*. At få dette værk trykt i et katolsk land var udelukket, selv om det 'bare' handlede om mekanik, så hollænderen Louis Elzevier greb ind.

Et uafklaret spørgsmål

Gennem nogle år har jeg forhørt mig flere steder om Galilei efter sin dom stadig modtog honorarer fra sine kannikeembeder. Også Archivio Segreto Vaticano (Vatikanets Hemmelige Arkiver) har jeg forespurgt flere gange, senest i juli måned. Tilsyneladende har ingen nogensinde interesseret sig for det, så svaret er, at ingen ved det. Men måske finder man en dag et dokument i de klerikale arkiver i Pisa eller Brescia, eller et helt andet sted, der kan kaste lys over spørgsmålet. Det kunne være interessant.

Litteratur

- [1] Peter Machamer (ed.) (1998), *The Cambridge Companion to Galileo*, Cambridge University Press
- [2] Galileo Galilei, *Sidereus Nuncius or The Sideral Messenger*, translated with introduction, conclusion, and notes by Albert van Helden, The University of Chicago Press, Chicago and London 1989
- [3] Galileo Galilei, *Budskab om stjernerne*, oversat fra latin og indledt af Tom Bøgeskov, Tycho Brahe Planetarium & Omnimaxteater, København 1999
- [4] Helge Kragh (2006), *Omkring Kopernikus*, Steno Museets Venner, Århus
- [5] Kristian Pedersen, *Det Internationale Astronomiår 2009*, KVANT bind 19, marts 2008, s.16-17
- [6] *Starry Messenger* (webudstilling), Department of History and Philosophy of Science, Univ. of Cambridge, <http://www.hps.cam.ac.uk/starry/galsidnun.html>
- [7] Helge Kragh (2008), *En ny verden: Galilei og kikkerten*, Københavns Universitets Almanak 2009, s. 104-108
- [8] Carl Henrik Koch (2007), *Fra Aristoteles til Newton – Træk af den naturvidenskabelige tænkemådes historie*, KVANT bind 18, september 2007, s.6-12



Marie-Louise Hammer er forlagsredaktør og desuden stud.mag. på Københavns Universitet. Forsker tværfagligt bredt i videnskabsfilosofi og videnskabshistorie med 1600-tallets videnskabelige revolution som omdrejningspunkt.

Foreningsnyt

Nordisk møde for Dansk Fysisk Selskab juni 2009

Dansk Fysisk Selskab afholder et fælles nordisk møde for alle fysikselskaber på DTU i Lyngby den 16.-18. juni 2009. Dette møde erstatter vores normale juni møde på Nyborg Strand. Alle nordiske fysikselskaber arbejder sammen om dette møde, der som sædvanligt vil byde på foredrag af fremtrædende fysikere og have sessioner om atomfysik (AMO), astrofysik, condensed matter fysik, nanofysik og -materialer, medicinsk og bio-fysik, uddannelse og undervisning, kerne- og partikelfysik og plasmafysik. Tilmeldingsfristen bliver den 20. marts. Deltagergebyr (overnatninger ikke inkluderet) for medlemmer vil være ca. 1.050 kr. Følg med på hjemmesiden www.dfs.nbi.dk.

Foredrag i Astronomisk Selskab foråret 2009 – Udforskningen af Solsystemet

Udforskningen af Solsystemet er i de senere år blevet intensiveret og de fleste planeter på det seneste har haft besøg fra Jorden. Selv den fjerne Pluto og nogle af de største asteroider får i de kommende år besøg af en jordisk sonde. Denne aktivitet har naturligvis givet os en masse nye informationer om Solsystemet og dets opbygning. Vi skal i denne foredragsrække høre om nogle af de seneste rummissioner og gøre status over vores nuværende viden om Solsystemet.

Christine Hvidberg:

Is i Solsystemet, 26. januar i København – 2. februar i Århus

Ib Lundgaard Rasmussen:

De Indre Planeter - Merkur og Venus, 23. februar i København – 2. marts i Århus

Line Drube:

Udforskning af Mars med NASA's Phoenix Lander, 9. marts i København – 16. marts i Århus

Michael Linden-Vørnle:

Det ydre Solsystem, 20. april i København – 27. april i Århus

Bertil Dorch:

Solvinden – Solsystemets skjold mod Galaksen, 11. maj i København – 18. maj i Århus

Foredragene finder sted mandage kl. 19.15 på adresserne:

København: Auditoriet, Juliane Maries Vej 30 2100 København Ø.

Århus: Matematisk Institut, Aarhus Universitet Ny Munkegade, Bygning 1530, Auditorium D2 (sandsynligvis) 8000 Århus C.

Foredragene afholdes i samarbejde mellem Astronomisk Selskab, Tycho Brahe Planetarium og Folkeuniversitetet. De er tilrettelagt af Torben Arentoft, Bertil Dorch og Michael Linden-Vørnle.

Lysende saltagurk i elektrisk stol

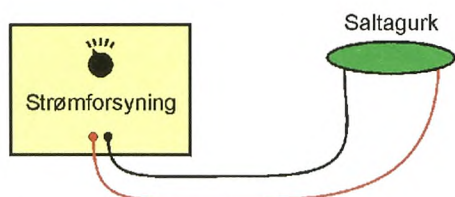
Af Klaus Seiersen, Fysikbasen

En saltagurk tilsluttes 230 V, hvilket får den til at lyse som en natriumlampe. Udover at demonstrere faren ved store strømstyrker viser dette forsøg atomare overgange i natrium. Artiklen er redigeret fra et forsøg på www.fysikbasen.dk.

Forsøgsbeskrivelse

En syltet agurk forbindes til to elektroder. Disse kan bestå af to kobberledninger, der stikkes i hver sin ende af agurken eller to gaffer, der sættes i agurken. Elektroderne forbindes til en variabel transformator, der kan levere op til almindelig netspænding på 230 V.

NB: Sørg *altid* for sikre, at der ikke er spænding på elektroderne, når agurken skal monteres eller fjernes!



Figur 1. Diagram over forsøg.

Når man skruer op for spændingen vil der gå et par sekunder. Herefter begynder agurken at dampe kraftigt, og til sidst kommer der et karakterisk gult lys fra den ene ende.



Figur 2. En agurk er klar til at blive "henrettet" i en elektrisk stol indrettet til formålet. Elektroderne kobles direkte til stikkontakten via en sikring.

I ovenstående forsøg anvendes en "elektrisk stol" til saltagurker. Denne består af en metalholder, der er påmonteret to elektroder af kobber. Disse kan skydes frem og tilbage, hvorved agurken kan klemmes fast.

Forsøget viser, hvad der kan ske, når saltholdigt, biologisk materiale udsættes for højspænding. Forsøget kan danne grundlag for en diskussion om, hvornår

strøm er farligt. Er det for eksempel spændingen alene, der kan slå folk ihjel, eller kræver det også store strømstyrker? Hvor stor er strømmen, hvis man kortslutter et 9 volts batteri (mål efter med amperemeter)?



Figur 3. Når der sættes strøm til agurken, begynder denne først at dampe kraftigt.



Figur 4. Efter lidt tid begynder agurken at lyse. Farven stammer fra den gule D-linie i natrium. Bemærk at farverne på billedet ikke er gengivet helt korrekt!

Spektralanalyse

Forsøget kan ydermere bruges som en introduktion til spektralanalyse. Det gule lys fra agurken stammer nemlig fra grundstoffet natriums D linie. Man kan se linien, hvis man prøver at analysere lyset i et simpelt håndholdt spektrometer. Se boksen om spektroskopiens historie.

Forsøget kan også laves med andre grøntsager, som har ligget noget tid i saltlage. Man kan desuden eksperimentere med at bruge forskellige typer salt, hvorved agurken vil lyse med forskellige farver.

Spektroskopiens historie

I 1802 opdagede englænderen William Hyde Wollaston (1766-1828), at der i Solens spektrum fandtes en række mørke linier. Disse linier blev genopdaget i 1814 af tyskeren Joseph von Fraunhofer (1787-1826), som udforskede dem grundigt og fandt flere hundrede, hvor Wollaston kun havde observeret nogle få.

Fraunhofer målte positionen af over 300 linier, hvoraf de tydeligste blev benævnt med bogstaverne A, B, C, D og så videre. Han bemærkede selv, at der var et sammenfald mellem den gule D linie og en linie i spektret fra en lampe.

Det blev tyskeren Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), der i 1859 fortolkede D linien som stammende fra grundstoffet natrium i datidens natriumlamper. Dermed konkluderede han også, at natrium fandtes på Solen. Fraunhofer bemærkede selv, at spektret for Solen ikke svarede til spektret fra andre stjerner, og med Kirchhoffs opdagelse blev stjernespektroskopien født. Dermed blev det muligt at identificere grundstofsammensætningen af fjerntliggende stjerner.

Senere i 1800-tallet fandt man så et ukendt grundstof på Solen. Grundstoffet blev kaldt Helium efter den græske solgud, og således havde man for første gang opdaget et grundstof i rummet, før man opdagede det på jorden.

I virkeligheden består Fraunhofers D linie af to tætliggende overgange i natrium. Den ene med bølgelængde 589,0 nm og den anden med 589,6 nm.

Stegte pølser

Mogens Winther fra Amtsgymnasiet i Sønderborg har bemærket, at forsøget også kan udføres med pølser. Her kan man dog være uheldig – eller heldig – at pølsen eksploderer! Eksplosioner kan undgås ved at prikke huller i pølseskindet. Udføres forsøget med både 230 V og 380 V kan man se, at effekten stiger med voksende spænding.

Spørgsmål og svar

Hvilke andre emissionslinier kan man se i spektret?

Ifølge referencen Appling et al. (1993), så er den gule D-linie den eneste, der kan ses i spektret.

Hvorfor lyser agurken ikke?

Undersøg først med et voltmeter, om der er spænding over de to elektroder. Hvis der er det, så skal de måske rengøres. Tidligere forsøg efterlader forkullede agurkerester. Husk at slukke for spændingen først!

Hvorfor lyser agurken kun i den ene ende?

Ifølge artiklen af Peter M. Weiner og Rubin Battino skyldes dette, at agurken først virker som en almindelig elektrisk modstand, hvor strømmen afsætter en stor effekt. Hermed varmes agurken op, og vandet i agurken begynder efterhånden at koge og der observeres dampstråler, som står ud af agurken. Inde i agurken dannes små dampfyldte hulrum, og det er når disse dannes, at der kan dannes en gnist fra en af elektroderne – gennem hulrummet – til selve agurken. Og det er netop i denne gnist, man får ioniseret natriumet, så det lyser.

Litteratur

- [1] J.R. Appling, F.J. Yonke, R.A. Edgington and S. Jacobs (1993), Sodium D Line Emission from Pickles, *J. Chem. Ed.* **70**, 250 (1993)
- [2] P.M. Weimer and R. Battino (199), The Incredible 'Glowing' Pickle and Onion and Potato and..., *J. Chem. Ed.* **73**, 456 (1996)
- [3] P. Scharlin, A.A. Cleveland, R. Battino and M.E. Thomas (1996), Glowing Veggies, *J. Chem. Ed.* **73**, 457 (1996)
- [4] M.M. Rizzo, T.A. Halmi, A.J. Jircitano, M.G. Koci-olek, and J.A. Magraw (2005), Revisiting the Electric Pickle Demonstration, *J. Chem. Ed.* **82**, 545 (2005)



Klaus Seiersen, ph.d. i atom- og molekylfysik. Har stiftet Fysikshowet på Aarhus Universitet og har fremvist fysikforsøg i både Europa og Asien. Mange af disse forsøg kan hentes gratis på Fysikbasen.dk. Udover sit arbejde som hospitalsfysiker på Århus Sygehus, blogger Klaus fast om naturvidenskab for Nyhedsmagasinet Ingeniøren.

TOTAL SOLFORMØRKELSE I KINA

Viktors Farmor har oplevet stor efterspørgsel på rejserne til solformørkelsen i Kina 2009.

De første tre rejser er næsten udsolgt og vi tilbyder derfor 2 ekstra rejser på 14 dage. Der er afrejse henholdsvis 14. og 15. juli og de koster 21.800 kr.

Solformørkelsen er kombineret med et program der præsenterer deltagerne for området omkring Shanghai.

Vi bor fortrinsvis på 4- eller 5-stjernede hoteller. Prisen er inklusive helpension og drikkepenge.

Bjergene i Hungshan



Tlf: 86 22 71 81
www.viktorsfarmor.dk

Termiske fluktuationer – er der noget nyt under Solen?

Af Ulf Rørbæk Pedersen, Thomas B. Schrøder og Jeppe C. Dyre, Danmarks Grundforskningsfonds center for seje væskers dynamik, "Glas og Tid", Roskilde Universitet

I computersimuleringer af en række simple væsker har det for nyligt vist sig, at tryk og energi korrelerer meget stærkt i deres fluktuationer i termisk ligevægt. Artiklen fortæller kort om denne opdagelse og dens konsekvenser.

Termiske fluktuationer og statistik

Tænk på molekylerne i et glas vand – eller på atomerne i en klump kobber. Et sådant system er utroligt kompliceret hvis man forestiller sig at skulle holde rede på alle molekylernes positioner og bevægelser. Men heldigvis er langt de fleste frihedsgrader uinteressante. Interessante størrelser er fx den samlede energi, volumenet, trykket, temperaturen – eller det samlede elektriske dipolmoment. For et glas vand i termisk ligevægt er disse størrelser ganske veldefinerede og konstante i tiden. Men betragter man systemet "med mikroskopet," vil man se at størrelserne faktisk fluktuerer en smule. Dette fænomen afhænger af randbetingelserne, fx gælder for et isoleret system at energien er bevaret og derfor ikke kan fluktuere. Men den typiske situation er at makroskopiske størrelser, som tiden går, fluktuerer en lille smule omkring deres middelværdier.

Situationen er ikke anderledes end uden for fysikken, faktisk er statistik jo netop opfundet til at kunne skelne tilfældige fluktuationer fra ikke-tilfældige. En nyttig erkendelse fra statistikken er den såkaldte $1/\sqrt{N}$ regel, en regel man kan komme forbavsende langt med. Hvis man fx slår plat og krone 10.000 gange vil der i gennemsnit komme 5.000 gange plat og 5.000 gange krone. Men selvfølgelig vil disse tal ikke passe helt præcist, og $1/\sqrt{N}$ reglen siger at den typiske relative afvigelse i dette eksempel er omkring $1/100$ af de 10.000, altså af størrelsesorden 100 til hver side. Det betyder at hvis man fx observerer krone 6.000 gange, er det tale om en meget interessant mønt! Men hvis man observerer krone 5.060 gange er der ingen grund til mistænksomhed. Når man ofte læser at en Gallup-undersøgelse har en usikkerhed på 3% kommer det fra, at man typisk interviewer omkring 1.000 mennesker.

Einsteins formel for varmekapaciteten

$1/\sqrt{N}$ reglen betyder at jo større N er, jo mindre er fluktuationerne relativt. Jo større et glas vand, jo mindre fluktuerer middelen energien. Man skulle derfor mene at termiske fluktuationer ingen særlig betydning har for makroskopiske systemer. For godt 100 år siden viste Einstein imidlertid at det er forkert. Han udregnede, at varmekapaciteten ved konstant volumen for et system i termisk ligevægt med omgivelserne er proportional med systemets energifluktuationer. Kalder vi energien for E og betegnes afvigelser fra ligevægt med ΔE , defineres energifluktuationernes størrelse ved

$\sqrt{\langle (\Delta E)^2 \rangle}$, hvor de spidse parenteser signalerer middelværdi over tid. Einstein viste ved en simpel udregning, at denne størrelses kvadrat er proportional med varmekapaciteten C_V :

$$C_V = \frac{\langle (\Delta E)^2 \rangle}{k_B T^2}, \quad (1)$$

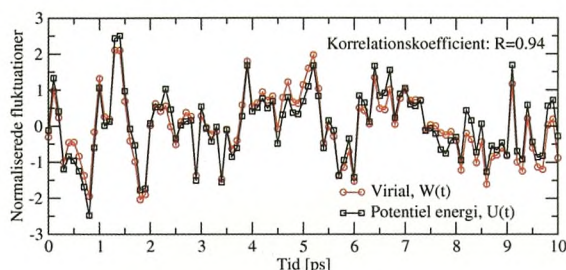
hvor k_B er Boltzmanns konstant og T er temperaturen. Varmekapaciteten er selvfølgelig proportional med antallet af molekyler, så ifølge Einsteins formel er energifluktuationernes størrelse proportional med $\sqrt{N}$. Da energien går som N , betyder det at den *relative* energifluktuation varierer som $1/\sqrt{N}$. I Einsteins formel for varmekapaciteten genfinder vi altså statistikens $1/\sqrt{N}$ regel!

I løbet af 1920'erne og 1930'erne blev det gradvist klart at termiske fluktuationer også bestemmer andre såkaldte lineær-respons størrelser. For eksempel er kompressibiliteten (sammentrykkeligheden) proportional med volumenfluktuationerne og dielektricitetskonstanten er proportional med fluktuationerne af det elektriske dipolmoment uden et ydre felt. Endnu mere generelt gælder det såkaldte *fluktuations-dissipations (FD) teorem*, der udtaler sig om det tidsafhængige respons af et system der forstyrres lidt fra ligevægt, fx ved at det påføres et ydre elektrisk eller magnetisk felt. FD-teoremet afspejler den dybe erkendelse at fluktuationer og lineært respons er to sider af samme sag; teoremet gør det muligt at beregne det tids/frekvens-afhængige respons på et ydre felt alene ud fra fluktuationerne i termisk ligevægt (mere præcist: ud fra ligevægts tidsautokorrelationsfunktioner). Dette resultat, som er grundlæggende i den moderne statistiske mekanik, blev endeligt etableret i løbet af 1950'erne og kendes for den elektriske ledningsevnes vedkommende som "Kubo-formlen". Også på dette område var Einstein altså en pioner.

Korrelation af virial og potentiel energi i væsker

På grund af FD-teoremet ved vi i dag at termiske fluktuationer ikke er ligegyldig støj, men tværtimod indeholder væsentlig information. De fleste fysikere ville nok mene der ikke er mere at sige om denne sag. Ved grundforskningscenteret "Glas og Tid" på RUC studerer vi sejtflydende væskers egenskaber både eksperimentelt og teoretisk, blandt andet med henblik på at forstå glasovergangen – den proces hvor væsken

gradvist størkner til et fast, ikke krystallinsk stof [1-5]. Vi udfører i den forbindelse omfattende computersimuleringer. Her opdagede vi for nyligt noget mærkeligt... Det viste sig at at tryk- og energi-fluktuationerne næsten helt følges ad i tiden for rigtig mange væsker [6]. Se fx på figur 1 som viser resultater fra en computersimulering af den såkaldte Lennard-Jones væske (der i øvrigt ikke er sejtflydende!). Lennard-Jones (LJ) væsken har gennem mange år fungeret som standard modelsystem for studiet af væsker – den danner bl.a. grundlag for diverse numeriske protein-modeller – og den er givetvis et af de mest simulerede systemer i computerens tidlige historie. LJ-væsken består af en række partikler som vekselvirker via par-kræfter med en stærk, korttrækkende frastødning og en svagere, mere langtrækkende tiltrækning. Den korttrækkende frastødning modellerer molekyl-molekyl frastødningen, som i sidste ende stammer fra Pauli-princippet for elektronerne. LJ-systemet er imidlertid rent klassisk og studeres ved “molecular dynamics” metoden som simpelthen løser Newtons anden lov numerisk.



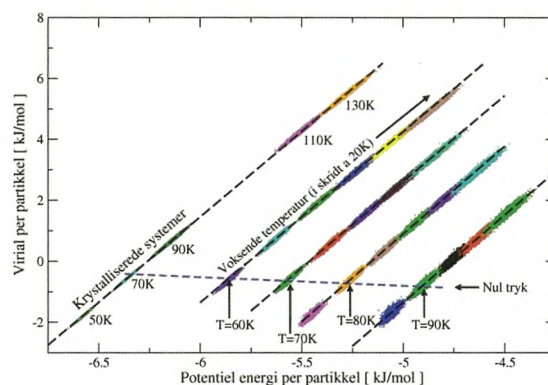
Figur 1. Normerede fluktuationer som funktioner af tiden af virial, W , og potentiel energi, U , i computersimuleringer af Lennard-Jones væsken (middelværdien er fratrasket og der er divideret med spredningen). $T=80$ K og $p=0$. Vi anvender såkaldte “Argon units”, dvs. de parametre for Lennard-Jones potentialet der bedst reproducerer termodynamiske data for Argon. De viste data er et lille udsnit af en 10 nanosekunder lang simulering. W og U er tydeligvis stærkt korrelerede. Dette er kvantificeret med korrelationskoefficienten: $R = \langle \Delta W \Delta U \rangle / \sqrt{\langle (\Delta W)^2 \rangle \langle (\Delta U)^2 \rangle}$. $R=1$ svarer til perfekt korrelation, medens $R=0$ svarer til ingen korrelation overhovedet. Figuren er en dansk version af en figur fra ref. [6].

Figur 1 viser faktisk ikke trykket p og energien E – mere præcist er det det såkaldte virial W og den potentielle energi U der vises. Som bekendt er energien summen af den kinetiske og den potentielle energi; sidstnævnte er den del af energien som afhænger af molekylernes positioner. På samme måde har trykket et “trivielt” bidrag fra molekylernes bevægelse (deres impulser) og et bidrag som afspejler det intermolekylære potential. Førstnævnte er der altid – også når molekylerne ikke vekselvirker; det fører til idealgasligningen (med sædvanlige betegnelser), $pV = Nk_B T$. Virialet W giver så per definition resten af trykket:

$$pV = Nk_B T + W. \quad (2)$$

Bemærk at virialet har dimension energi. Når man plotter virial og potentiel energi som funktioner af tiden for LJ-væsken i termisk ligevægt (figur 1) finder man altså at størrelserne følges pænt ad i deres normaliserede

fluktuationer. I det viste eksempel, der er typisk, er W og U 94% korrelerede.



Figur 2. Illustration af de stærke $W - U$ korrelationer i computersimuleringer af Lennard-Jones væsken for forskellige termodynamiske tilstande. Hver farvet ellipse består af punkter der giver sammenhørende værdier af virial og potentiel energi til givne tidspunkter i tidsudviklingen. De ellipser der ligger på samme skrå sorte stiplede linie er simuleret ved samme densitet. Densiteterne er fra højre mod venstre: 32,6; 34,6; 36,0; 37,4 og 39,8 mol/l. De ellipser der krydses af den næsten vandrette blå stiplede linie har nul tryk. Det at de farvede ellipser er langstrakte viser, at der er stærke korrelationer mellem virial og potentiel energi. Den orange ellipse mærket “ $T=80$ K” er resultatet af den simulering der er illustreret i figur 1, med $R = 0,94$. For alle de termodynamiske tilstande der er vist her gælder $R > 0,9$, undtagen væske-tilstandene med negativt tryk (under den blå stiplede linie) hvor R er lidt mindre end 0,9. Figuren er en dansk version af en figur fra ref. [6].

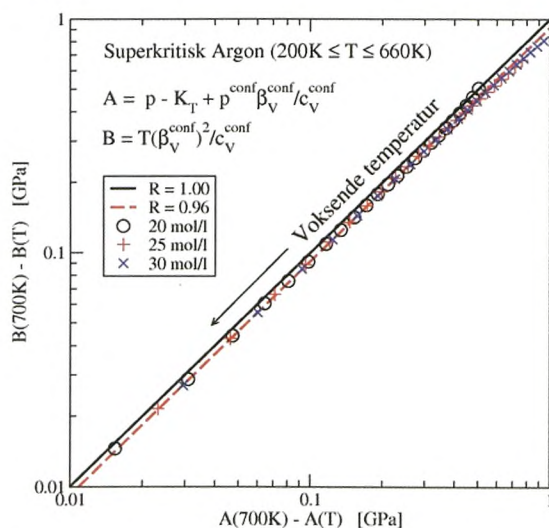
Figur 2 viser samhørende værdier af W og U for en række termodynamiske tilstande af LJ-væsken. For hver tilstand (farvet klynge) vises øjeblikkelige værdier; hver tilstand danner på denne måde en langstrakt ellipse af punkter. Det at den er langstrakt udtrykker netop de stærke korrelationer. De stiplede linier markerer forskellige densiteter.

Ingen har tilsyneladende bemærket disse korrelationer før – eller i hvert fald publiceret det. Vi havde en del problemer med selv at få resultatet publiceret, nogle reviewere mente det var forkert :-(, nogle at det var trivielt :-(, men heldigvis var der også nogle som mente det er interessant :-). Et overraskende forskningsresultat rejser altid følgende spørgsmål: Hvad er forklaringen? Hvor alment er fænomenet? Og: Er det overhovedet vigtigt, dvs har det afgørende konsekvenser – og i givet fald hvilke? Hvad angår det første, vil vi ikke her bruge så megen plads på forklaringen (se reference [7]); det viser sig at for en række væsker kan potentialet til en god approximation beskrives som en invers potenslov af afstanden mellem to molekyler. Dette betyder at disse væsker har stærke $W - U$ korrelationer – de er “strongly correlating”. Dermed afgrænses en klasse af væsker som omfatter van der Waals væsker og formentlig de fleste metaller, mens væsker med stærke hydrogenbindinger og væsker med kovalente bindinger ikke er “strongly correlating”. Men som vist i detaljer i ref. [7] er forklaringen lidt mere kompliceret end som så; fx er korrelationerne i Lennard-Jones krystallen faktisk endnu stærkere end i

væsken. Korrelationerne overlever altså krystallisering (se nederste venstre hjørne i figur 2), hvilket er meget usædvanligt for en første-ordens faseovergang.

Argon er stærkt korreleret

Der er en hel del der tyder på at “strongly correlating” væsker i flere sammenhænge er simple end væsker i almindelighed. Vi er for tiden i “Glas og Tid”-gruppen i fuld gang med at kortlægge fænomenet teoretisk. Men hvilke eksperimentelle konsekvenser har stærke $W - U$ korrelationer? Noget af det første vi kiggede på var argon, den klassiske modelvæske. Ved at analysere allerede eksisterende eksperimentelle data har vi vist at der er 96% korrelation mellem virial og potentiel energi i deres termiske fluktuationer for superkritisk argon. Dette er det første direkte bevis for at “strongly correlating liquids” eksisterer i virkeligheden og ikke kun i computeren. Figur 3 viser termodynamiske data for argon i et plot hvor diagonalen svarer til 100% korrelation.



Figur 3. Stærke $W - U$ korrelationer i eksperimentelle data for superkritisk Argon. Data for tre forskellige densiteter og en række temperaturer er plottet på en sådan måde (se reference 6) at de skulle falde på den sorte diagonal hvis virial og potential energi var perfekt korreleret ($R = 1$). Dette er ikke tilfældet, men vi finder $R = 0,96$ (den røde stiplede linie) – altså ganske stærke korrelationer. Figuren er en dansk version af en figur fra ref. [6].

Mellem væske og fast stof

En måske vigtigere konsekvens vedrører sejtflydende væsker, der er vores primære interesse i “Glas og Tid”. En sådan væske er kendetegnet ved at have meget lang relaxationstid [1-5] – den tid det tager væsken at komme i ligevægt efter en ydre forstyrrelse. Mens relaxationstiden for vand er 1 picosekund, kan den nemt være millisekunder, sekunder, timer, osv, for ekstremt seje væsker. Dette medfører, kan man vise, at en række termodynamiske størrelser som fx varmekapacitet, termiske udvidelseskoefficient eller kompressibilitet, alle er komplekse og frekvens-afhængige (ligesom fx en elektrisk impedans). Hvis væskens relaxationstid er τ , vil disse “termoviskoelastiske responsfunktioner” have signifikant frekvensafhængighed for frekvenser

omkring $1/\tau$. Dette kan kvalitativt forstås på følgende måde. Når vi måler ved frekvenser der er væsentligt højere end $1/\tau$, kan væskens struktur ikke nå at reagere på den påvirkning den udsættes for, simpelthen fordi dens relaxationstid er for lang. Det betyder at man vil se en opførsel der er karakteristisk for et fast stof. Måler vi derimod ved en frekvens der er væsentligt lavere end $1/\tau$, har væsken god tid til at reagere på den påvirkning vi udsætter den for, og den udviser karakteristisk væske-opførsel. Det vil sige at størrelser som varmekapacitet, kompressibilitet og udvidelseskoefficient er høje ved lave frekvenser (væske-opførsel) og lave ved høje frekvenser (faststof-opførsel). Ved frekvenser omkring $1/\tau$ slår relaxationsprocesserne igennem og medfører at responsfunktionerne bliver komplekse.

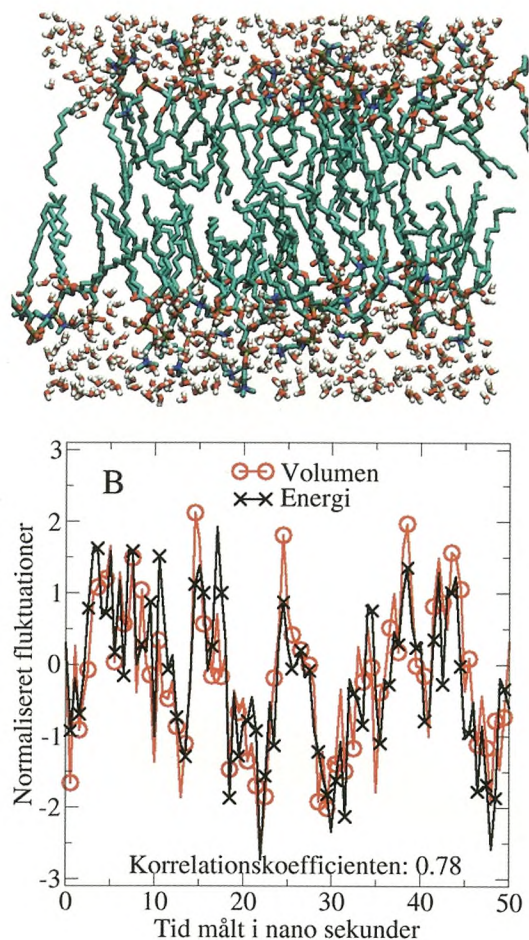
Dette er helt generelt for alle de grundlæggende otte termodynamiske responsfunktioner som findes (se fx ref. [8]). Men for “strongly correlating liquids” kan man vise [8], at i grænsen hvor der er 100% korrelation mellem virial og potentiel energi, vil alle ovennævnte responsfunktioner have samme frekvensafhængighed. Faktisk gælder også omvendt, at hvis responsfunktionerne har samme frekvensafhængighed, så vil væsken være “strongly correlating”. Dette resultat illustrerer den ny væskeklassers relevans for seje væskers fysik. Men det er endnu ikke eftervist eksperimentelt. Grunden er, at der i dag ikke findes metoder til pålidelig måling af termoviskoelastiske responsfunktioner. Vi arbejder på at udvikle sådanne i “Glas og Tid”-gruppen. Det vil føre for vidt at forklare hvorfor det er så svært at måle responsfunktionerne; den interesserede læser kan få noget af forklaringen i ref. [9] der påviser at gængse metoder til måling af den frekvensafhængige isobare varmekapacitet ikke er pålidelige.

Nervesignaler

Et sidste eksempel på betydningen af korrelationer involverer en biofysisk anvendelse. For nyligt har Thomas Heimburg og Andrew Jackson fra Niels Bohr Institutet fremsat en helt ny teori for hvordan et nervesignal propagerer [10]. Idéen er at nervesignaler ikke primært er elektriske signaler, men u-lineære (soliton-)lydbølger som forplanter sig i nervecellemembranen. Teorien, som naturligvis er kontroversiel, forklarer bedøvelse som en effekt af at membran-smeltetemperaturen sænkes, hvilket delvis forhindrer lydbølgens forplantning [11].

Et vigtigt input i Heimburg-Jackson teorien er at membran-varmekapacitet og -kompressibilitet er proportionale i deres variation med temperaturen. Det kan vises at dette er opfyldt til en god approximation hvis membranens mikroskopiske energifluktuationer korrelerer stærkt med dens volumenfluktuationer (ved konstant tryk), altså en korrelation af samme type som den ovenfor diskuteret. Vi har undersøgt om det er tilfældet ved, i samarbejde med Günther Peters fra MEMPHYS DTU, at foretage nogle omfattende computersimuleringer. Resultaterne ses i figur 4. Rent faktisk finder vi stærke korrelationer, hvilket bestemt ikke er

trivielt i lyset af hvor kompliceret en biomembran er. Simuleringerne støtter altså Heimburg-Jackson teorien.



Figur 4. Øverst ses et udsnit af en computersimuleret membran bestående af phospholipider. Et phospholipid molekyle består af en hydrofil del (elsker vand) samt en hydrofob del (hader vand). I vand vil lipiderne spontant ordne sig så hydrofobe dele er skærmet fra vand mens hydrofile grupper er i kontakt med vand, som det er ses på figuren. Hovedbestandelen af disse biomembraner er phospholipider, og de benyttes derfor ofte som modelsystem for disse. Nederst vises hvordan volumen og energi midlet over 1/2 nanosekund fluktuerer som funktion af tid i en simulering af en membran. Med det blotte øje ses at volumen og energi "følges ad", dvs. de er stærkt korreleret. Det kan nævnes at øjeblikkelige volumener og energier kun er svagt korreleret. Det skyldes bl.a. at vandmolekyler bidrager til korttids-fluktuationer og at vand ikke er en "strongly correlating"-væske (se tekst). Det er altså kun for de langsomme membranfluktuationer man finder stærk korrelation.

Der forestår nu et større arbejde med at kortlægge egenskaberne af "strongly correlating liquids". Vores arbejdshypotese er som nævnt at disse væsker er særligt simple. Det er påvist at tryk-temperatur-afhængigheden af relaxationstiden i det væsentlige kan beregnes ud fra ligevægtsfluktuationerne [12], og seje væskers "aging" egenskaber er også ret simple (upubliceret).

Den lidt tilfældige opdagelse af stærke $W - U$ korrelationer, kan således måske med tiden føre til en bedre forståelse af seje væskers fysik.

Litteratur

- [1] M.D. Ediger, C.A. Angell og S.R. Nagel (1996), *J. Phys. Chem.* **100**, s. 13200-13212.
- [2] C.A. Angell, K.L. Ngai, G.B. McKenna, P.F. McMillan og S.W. Martin (2000), *J. Appl. Phys.* **88**, s. 3113-3157.
- [3] P.G. Debenedetti og F.H. Stillinger (2001), *Nature* **410**, s. 259-267.
- [4] J.C. Dyre (2006), *Rev. Mod. Phys.* **78**, s. 953-972.
- [5] J. Dyre og T. Schrøder (2006), *Kvant* **17** (1), s. 12-15.
- [6] U.R. Pedersen, N.P. Bailey, T.B. Schrøder, and J.C. Dyre (2008), *Phys. Rev. Lett.* **100**, 015701.
- [7] N.P. Bailey, U.R. Pedersen, N. Gnan, T.B. Schrøder og J.C. Dyre (2008), "Pressure-energy correlations in Liquids." I og II, *J. Chem. Phys.* **129**, 184507 (I) og *J. Chem. Phys.* **129**, 184508 (II)
- [8] N.L. Ellegaard, T. Christensen, P.V. Christiansen, N.B. Olsen, U.R. Pedersen, T.B. Schrøder og J.C. Dyre (2007), *J. Chem. Phys.* **126**, 044502.
- [9] T. Christensen, N.B. Olsen og J.C. Dyre (2007), *Phys. Rev. E* **75**, 041502.
- [10] T. Heimburg og A.D. Jackson (2005), *Proc. Natl. Acad. Sci.* **102**, 9790-9795.
- [11] T. Heimburg og A.D. Jackson (2007), *Biophys. J.* **92**, 3159-3165.
- [12] T.B. Schrøder, U.R. Pedersen, J.C. Dyre (2008), arXiv:0803.2199.



Ulf Rørbæk Pedersen er ph.d-studerende ved "Glas og tid". Han benytter molekylodynamik-simuleringer til at undersøge egenskaber af de stærkt korrelerede væsker, "strongly correlating liquids", som artiklen omhandler, såvel som metastabilitet af underafkølede væsker og phospholipidmembraner.



Thomas B. Schrøder, som er lektor i fysik, forsker i computersimuleringer af seje væskers dynamik og søger at opstille simple modeller, der afspejler disse egenskaber. Han har tidligere arbejdet med simulering af modeller for AC elektrisk ledning i uordnede stoffer, samt protein- og polymerdynamik.



Jeppe Dyre, der er professor i fysik, arbejder på at opstille fænomenologiske modeller for seje væskers dynamiske egenskaber. Modellerne opstilles i dialog med RUC glasgruppens eksperimentalfysikere. Målet er en model som gælder for alle seje væsker, uanset kemisk sammensætning.

Aktuelle bøger

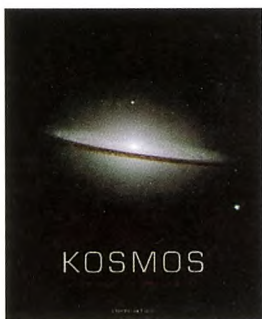
Af John Rosendal Nielsen og Michael Cramer Andersen, KVANT

Universet i kæmpeformat

Af: *Giles Sparrow*. Lindhardt og Ringhof 2008, "Kosmos – En guide til universet", 224 sider ill, 399 kr. <http://www.lindhardtostringhof.dk/>

Hvis man synes at en rejse i Universet lyder spændende og samtidig ønsker en seriøs omgang vægtløftning – uden at forlade lænestolen, så kan du med bogen "Kosmos" få begge ønsker opfyldt.

Bogens oplevelsesrejse begynder i vores eget solsystem, hvor det nærliggende udgangspunkt er Jorden. Den bliver beskrevet som en planet i Solsystemet, hvor emner som tektonik, atmosfære og tilstedeværelsen af liv bliver beskrevet. Derefter springer vi fra planet til planet længere ud i vores solsystem, hvor vi undervejs får smukke oplevelser ved Solen og planeternes måner. Der bliver bl.a. gengivet nogle fantastiske billeder af en koronal masseudkastning fra Solen, hvor mere end 100 milliarder tons stof slynges ud rummet med en hastighed af millioner af kilometer i timen.



Vi slutter vores planet-spring ved Solsystemets udkant – i de små iskloders domæne, hvor vi får et kig på de objekter, der kunne bebo Kuiper-bæltet og Oort-skyen. Derefter er det stjernernes tur til at blive beskrevet – på deres forskellige udviklingstrin – lige fra deres fødsel til deres endeligt. Til sidst i bogen får vi indsigt i galaksernes natur og nogle kosmologiske overvejelser. Alt dette bliver præsenteret med et overflødighedshorn af astronomiske observationer.

Bogen er en rigtig lækker coffee-table-book, hvis man altså har et kaffebord, der er stort nok. Den er nemlig meget stor – større end et A3-ark. Fordelen er at bogen kan præsentere billederne i et fantastisk format. Ulempen er dog at man næsten ikke kan bære rundt med bogen, uden at have en våbentilladelse. Teksten spiller ikke den store rolle i bogen, men de æstetiske smukke billeder af astronomiske fænomener – som f.eks. billederne af stjernetågerne, må vinde ethvert hjerte.

John Rosendal Nielsen

Einsteins tankeunivers

Af: *Helge Kragh*. Aarhus Universitetsforlag 2008, "Einsteins univers – en fysikers tanker om natur og erkendelse", 154 sider, 198 kr. <http://www.unipress.dk>

Det er en meget interessant og velskrevet bog om Einstein som videnskabshistorikeren Helge Kragh har skrevet. Man mærker tydeligt forfatterens enorme overblik og kendskab til originalkilderne.

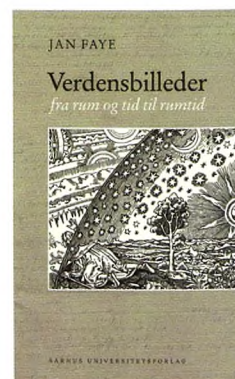
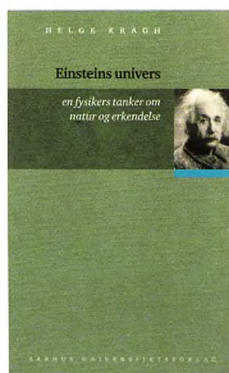
Bogen fortæller i otte kapitler om nogle af de væsentligste aspekter ved den berømte fysiker. Banen kridtes op med

et biografisk kapitel om Einsteins liv og virke. Herefter bekrives i tre kapitler Einsteins to relativitetsteorier og hans bidrag til kosmologien. Et af Einsteins bidrag indenfor kvanteteorien, som er emnet for kapitel 5, var introduktionen af fotonen, men i lang tid var Einstein ene om at tro på dens eksistens. Ideen blev mødt med skepsis og først da Arthur Compton i 1922-23 bestemte fotonens impuls (som var beregnet af Einstein) i et eksperiment hvor elektroner spredtes på fotoner vandt ideen almen accept. Det er altid spændende at få videnskabelige ideer sat ind i deres historiske ramme, så man både forstår baggrunden og hvordan de blev modtaget.

I kapitel 6 diskuteres Einsteins videnskabsfilosofiske tanker. Einstein er svær at sætte i nogen filosofisk bås, dels fordi han plukkede lidt fra flere retninger og dels fordi han ændrede syn gennem livet således at han startede med at være positivist og efter 1915 mere var rationalist. Men var han også realist og idealist? Det væsentlige for Einstein var, at han brugte den filosofiske refleksion – og videnskabshistorien – til at opnå en større selvforståelse og naturforståelse. Einstein var ikke blot en håndværker eller specialist. Han var en ægte sandhedssøger og arbejdede på principspørgsmål og fysikkens grundlagsproblemer, hvor filosofien kunne være en god hjælp.

I de sidste to kapitler beskrives Einsteins tanker om religion og naturvidenskab og hans politiske synspunkter. Man bliver vel informeret ved læsningen og det er en stor fornøjelse at få beskrevet så mange vanskelige emner letforståeligt uden at det nogle steder bliver for overfladisk. Der er også formler med dér hvor det er nødvendigt og det hjælper meget på forståelsen, når det gælder teorier fra en mand som Einstein. Den eneste mangel ved bogen er illustrationer. Bogen kan varmt anbefales til alle der vil vide hvordan en stor fysiker tænker.

Michael Cramer Andersen



Verdensbilleder

Af: *Jan Faye*. Aarhus Universitetsforlag 2008, "Verdensbilleder – fra rum og tid til rumtid", 136 sider, 198 kr. <http://www.unipress.dk>

Jan Faye tager os med til højdepunkterne i de forskellige verdensbilleder og vi ender helt fremme ved den nyeste forskning. Bogen, der er opbygget kronologisk, behandler tanker om tid og rum hos bl.a. Aristoteles, Gassendi, Newton, Leibniz, Mach, Einstein, Minkowski, Bohr og filosofen McTaggart – der argumenterede imod tidens eksistens!

Bogen fortsætter med temaer fra kosmologien: "Big Bang – rummets og tidens begyndelse", "Tidens retning" og det metafysiske problem "Hvorfor findes der noget frem for intet?"

Det er en tankevækkende bog, men man skal nok være særligt interesseret i filosofiske og logiske diskussioner. Som fysiker vil man nok savne den eksperimentelle side – hvordan man igennem tiden er blevet bedre til at måle tid og rum.

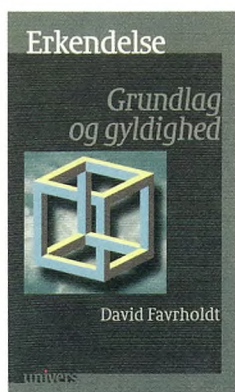
Michael Cramer Andersen

Erkendelse

Af: *David Favrholt*. Aarhus Universitetsforlag 2008, "Erkendelse – Grundlag og gyldighed", 208 sider, 198 kr. <http://www.unipress.dk>

I "Erkendelse" leverer David Favrholt et frontalan-greb på tendensen til at mistro enhver form for sikker viden – f.eks. som den sker indenfor kulturel relativisme, socialkonstruktivismen og skepticisismen. Vi får en gennemgang af hovedstrømningerne i moderne videnskabsteori og erkendelsens historie fra oldtiden til i dag. Forestillingen om en særlig form for religiøs erkendelse gennemlyses og tilbagevises, ligesom forskellige former for overtro får en overhaling. En meget oplysende og interessant bog, der også bør kunne læses af f.eks. gymnasieelever.

Michael Cramer Andersen



Alt er relativt

Af: *Jørn Madsen og Anders Smith*. Gads forlag 2008, "Alt er relativt – Eller er det nu også det?", 392 sider. 269 kr. <http://www.gad.dk>

Med denne bog bliver man både oplyst og underholdt på samme tid. Efter en introduktion til hvad videnskab er fortælles om emner som: Tyngdekraft, bølger, elektricitet, atomer, Big Bang, sorte huller, Solen, planeter, liv i universet, Jorden, evolution og mennesket. Bogen er en dansk pendant til Bill Brysons "En kort historie om næsten alt" og den vil være en sand guldgrube for specielt yngre læsere. Men alle med hang til populærvidenskab krydret med videnskabshistoriske anekdoter vil sikkert synes om bogen.

Michael Cramer Andersen

Bog og dvd på vej

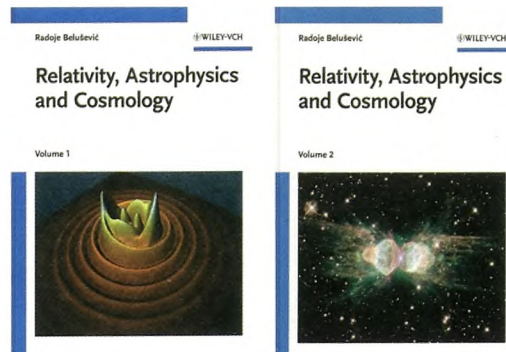
I anledning af astronomiår 2009, og 400-året for opfindelsen af teleskopet, udgiver IAU og ESA bogen og dvd'en *Eyes on the skies*. Prisen er 20 euro og den kan bestilles via websiden:

<http://www.eyesontheskyes.org>



Grundbøger i kosmologi

Af: *Radoje Belušević*. Wiley-VCH 2008, "Relativity, Astrophysics and Cosmology Vol. I+II", 1097 sider, 265 euro. <http://www.wiley.com>



Dette tobindsværk opsummerer de gældende teorier og de seneste årtiers resultater indenfor relativitetsteori, astrofysik og kosmologi. Hvis man skal læse en videnskabelig artikel i dag forudsættes mange ting kendt og her kan en god referencebog være en stor hjælp. Niveaulet svarer til kandidatstuderende. Bøgerne rummer ikke opgaver eller øvelser men har til gengæld mange gennemregnede eksempler.

Første kapitel, på 200 sider, giver et overblik over hovedpunkterne i moderne kosmologi, både den etablerede teori og observationer og eksperimentelle metoder. Man finder alle de traditionelle emner om Universets termiske historie, dannelsen af de første grundstoffer, mørkt stof, mikrobølgebaggrundsstrålingen og galaksedannelse, men det er imponerende så mange nye resultater der er med. Kapitlet afsluttes meget passende med Universets fjerne fremtid.

De fysiske og matematiske begreber, der udgør Einsteins specielle og almene relativitetsteori, gennemgås i kapitel 2. Dette er det teoretiske grundlag for moderne kosmologi. Fremstillingen er baseret på tensorformalismen, men en mere abstrakt formalisme udviklet af Cartan introduceres også.

Med dette solide grundlag behandles, i kapitel 3, "Standardkosmologien" – Friedmann-Lemaître modellen med de mest populære løsninger for stof, stråling og vakuumenergi. De kosmologiske feltligninger udledes grundigt. Metoder til at bestemme kosmologiske afstande behandles ret udførligt, f.eks. afstandsformlen for supernova type Ia eller ligningerne der beskriver gravitationelle linser. Inflation gennemgås kort.

Anden del behandler, i kapitel 4, Stjerners struktur og udvikling, herunder de vigtigste fusionsprocesser og udvalgte stjernemodeller (1, 5 og 25 solmasser), men der forklares ikke meget om numeriske stjernemodeller. Man kan også undre sig over, at Solens data angives i cgs-enheder. Stjerne-rester som hvide dværge og neutronstjerner beskrives kort.

Hele kapitel 5 omhandler astrofysiske anvendelser af almen relativitetsteori, især sorte huller og forskellige test af relativitetsteorien, bl.a. perihelpræcession og lysafbøjning i svage tyngdefelter. Mange aspekter af sorte huller behandles f.eks. kollapset, rotation, termodynamik, Hawking-stråling og observationer, herunder Gravity Probe B eksperimentet. Gravitationel stråling, eller "tyngdebølger", får også en grundig behandling.

Bøgerne afsluttes med en række appendices der bl.a. behandler Maxwells elektrodynamik, Elementarpartikelfysik, Statistisk mekanik og termodynamik.

Det gode ved bøgerne er, at man næsten kan finde alt hvad man har brug for og det er nemt at finde. Hvert kapitel kan desuden læses uafhængigt af de andre. Det er lykkedes at skrive et værk der tilgodeser både teori og observationer og som kan tiltale både fysikere og astronomer.

Michael Cramer Andersen

CAND. SCIENT'ER SPARE PENGE?

JA! Se hvordan på
www.candscient.nu

IDA er med flere end 67.000 medlemmer landets største interesseorganisation for tekniske og naturvidenskabelige kandidater. Flere og flere cand.scient.er har allerede opdaget, at de er bedst stillet i IDA. Udover økonomiske fordele som landets formentlig billigste og bedst dækkende forsikringer, får du som medlem adgang til mere end 700 arrangementer årligt, deltagelse i fagtekniske selskaber og meget mere. Brug 5 minutter på www.candscient.nu og læs om alle fordelene. **Velkommen som cand.scient. i IDA.**



VIDEN DER STYRKER

Nyt optisk måleinstrument til indlejrede nanostrukturer

Af P.E. Hansen, Kai Dirscherl og Jørgen Garnæs, Dansk Fundamental Metrologi

Udmåling af geometrier og dimensioner i nanometerskala er ikke noget nyt for det danske nationale metrologiinstitut Dansk Fundamental Metrologi (DFM). Størrelser som liniebredde, stephøjde og gitterperioder måles med et metrologisk Atomic Force Mikroskop med nanometer nøjagtighed. Nu er der kommet et nyt Optisk Diffraktions Mikroskop ind i instrumentparken, udviklet og patenteret på DFM. Takket være dens optiske arbejdsmåde kan man også udmåle strukturer som er indlejret i for eksempel et beskyttelseslag.

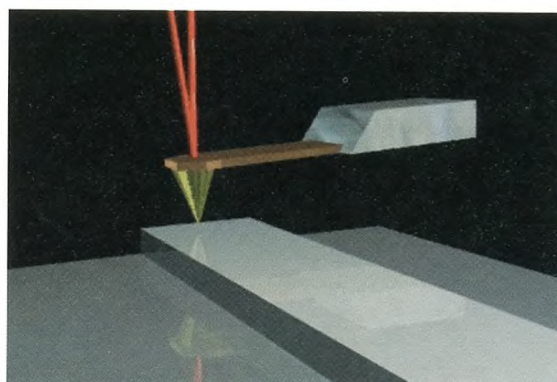
Om Dansk Fundamental Metrologi

DFM driver forskning indenfor udvalgte emner under overskrifterne elektricitet, optik, nanometrologi og matematiske metoder med det formål at sikre, at dansk metrologi til stadighed befinder sig på et internationalt anerkendt videnskabeligt niveau. DFM udvikler og vedligeholder normaler indenfor længde inklusiv topografi af overflader, og er af Sikkerhedsstyrelsen udpeget som dansk primærlaboratorium inden for masse, DC elektricitet, længde samt optisk radiometri. Der er i år etableret et samarbejde – kaldet Dansk Primær Laboratorium for Længde (DPLL) – mellem Teknologisk Institut, DTU-Mekanik og DFM til at løse opgaven som nationalt metrologiinstitut for længde. DPLL skal styrke forskning, udvikling, vedligeholdelse, videnshjemtagning og videregivelse af metrologisk sporbarhed på højeste niveau i det danske kalibreringshierarki til gavn for erhvervsliv og offentlige institutioner. Videregivelse af sporbarhed på højeste internationale niveau betyder, at kalibreringer – gennem en ubrudt kæde af sammenligninger – kan relateres direkte til definitionen af en meter. For eksempel på DFM realiseres en meter som bølglængden af det lys der kommer fra en iod-stabiliseret helium-neon laser.

Nanometrologi

Længdemålinger på nanometer (nm) niveau (1 nm = 0,000001 mm) laves på DFM i et Atomic Force Mikroskop (AFM), hvor en laser-detekteret spids skanner en overflade, se figur 1. Dette sker med en opløsning på en brøkdel af en nanometer¹. DFM har et avanceret AFM med afstandssensorer der er konstrueret til ultranøjagtig udmåling af overflader. Indenfor kvalitetskontrol anvendes AFM'et også når dimensioner skal dokumenteres i form af et kalibreringscertifikat for diameteren af nanopartikler, ruheden af en overflade, dybden af en grøft eller perioden af et gitter. Nanoteknologi er et vigtigt forskningsområde og finder i

stigende grad også anvendelse i industrielt fremstillede produkter. Så betydningen af sporbar karakterisering af nano- og mikrostrukturer er stor og efterspørgslen må forventes at stige fremover. DFM's AFM understøtter forskning i nanoteknologi og dermed dansk innovation indenfor nanoteknologi.



Figur 1. Måleprincippet i et atomic force mikroskop: En spids skanner emnets overflade, mens en laser detekterer spidsens højdeændring.

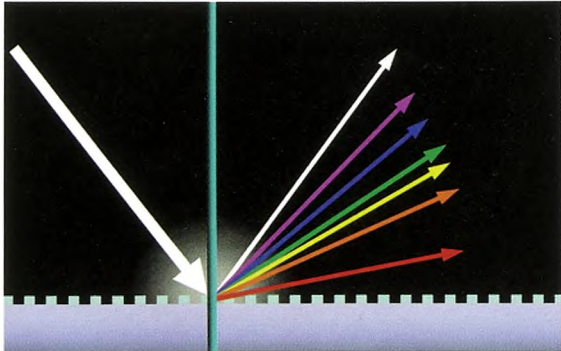
Nyt patenteret måleinstrument til nanostrukturer: ODM

Proces og kvalitetskontrol af optiske gitre² med perioder i mikrometer- til nanometerområderne spiller en stor rolle i fremstilling af optoelektroniske, optiske og mikroelektroniske komponenter. I Danmark eksisterer såvel fabrikanten som brugere af sådanne strukturer. Standard kvalitetskontroludstyr som Skanning Elektron Mikroskop (SEM) og Atomic Force Microscope (AFM) kan måle topografien men ingen af disse måleinstrumenter er designet til et produktionsmiljø. Et SEM kræver at prøven ødelægges før man kan observere og udmåle topografien. Et AFM måler et meget begrænset område af gitteret og er yderligere begrænset af nålens form, hvilket gør at det rå billede ikke viser den sande topografi.

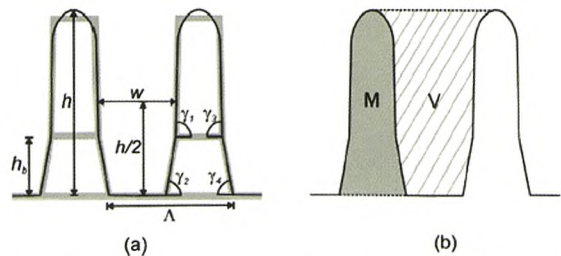
¹I et AFM bevæges probespidsen med en nøjagtighed bedre end 0,1 nanometer ved hjælp af et piezoelektrisk ophæng. Et piezoelektrisk materiale er et der ændrer størrelse, fx tykkelse, når det påtrykkes en spænding.

²Gitrene er overflade-reliefgitre ætset i fused silica (amorf kvarts) fra Ibsen Photonics. De fremstilles ved at et tyndt lag fotoresist lægges ovenpå en flad skive af fused silica der derefter belyses ved hjælp af stående bølger fra laserlys. Ved fremkaldelse af fotoresisten forsvinder fotoresisten på de steder hvor intensiteten af laserlys har været høj og det dannede gittermønster i fotoresisten bruges herefter som en maske til at ætse gitterets fordybninger ned i materialet.

Optisk Diffraction Mikroskopi (ODM) er en patenteret teknik (Patent-Nr.: US 7,321,433) specielt udviklet på DFM til hurtige målinger i et produktionsmiljø. ODM muliggør testning af hver enkelt prøve frem for stikprøvekontrol, hvilket giver en forbedret kvalitetskontrol og det formindsker spildprocenten. Et ODM gør brug af den egenskab at linieformen af et gitter giver et entydigt spektrum, når det bliver belyst med hvidt lys, se figur 2.



Figur 2. Måleprincippet i et Optisk Diffractions Mikroskop. Hvidt lys brydes ved et gitter i et entydigt spektrum, som indeholder data om gitterets geometri, materiale og brydningsindeks.



Figur 3. (a) Illustration af profil (tynd streg) og af dobbelt trapez profil (tyk streg). Sidstnævnte er givet ved parametrene: højderne h og h_b , vinkel γ_1 til γ_4 . Derudover viser figuren grøftebredden w samt gitterperioden Λ . (b) Vi definerer en fyldningsgrad f ved $f = M/(M + V)$, hvor M betyder tværsnitsarealet af det materialefyldte område og V arealet af det tomme område.

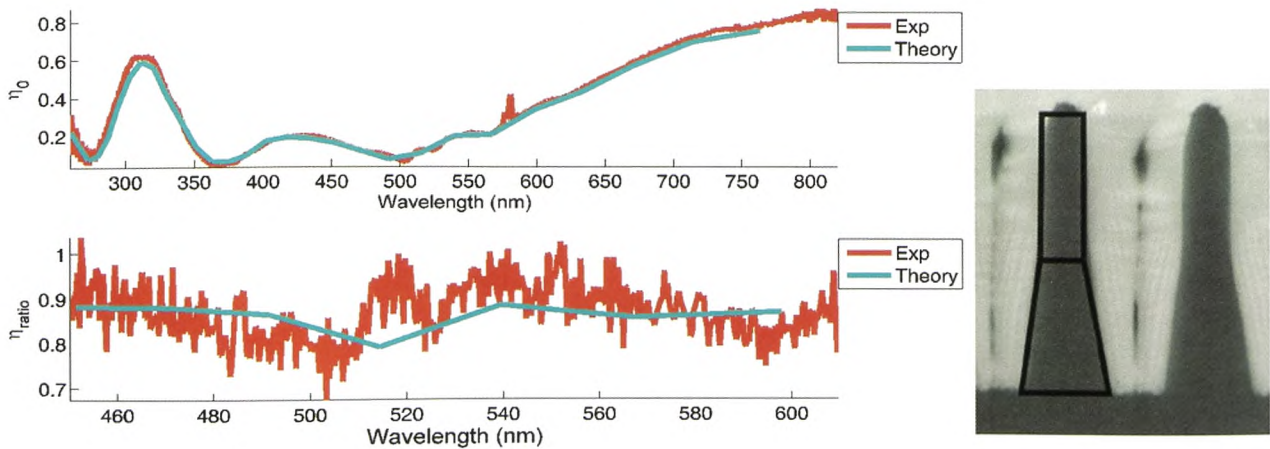
Det opsamlede spektrum bliver brugt som input til en dataanalysemetode, som beregner en topografi for gitterets linieprofil på basis af en valgt model. Modellen indeholder specifikationer om:

- Gitterperioden
- Den geometriske topografi som skal undersøges, f.eks. trapez og polygon, se figur 3
- Materialet som emnet er lavet af.

En ODM-måling er ikke-destruktiv og topografien kan findes på mindre end et minut. Et ODM gengiver den gennemsnitlige topografi i form af en linieprofil med tilhørende parametre, som karakteriserer gitret. ODM indgår nu i DFM's servicetilbud. ODM vil være et nyttigt redskab for blandt andet gitter-, laser- og spektrometerfabrikanter samt andre der arbejder med periodiske strukturer, såvel på overfladen som begravede i et materiale. I det følgende vil vi betragte et eksempel der illustrerer mikroskopets egenskaber. Vi vil beskrive hvorledes ODM kan bruges til at lave kvalitetskontrol på gitre.

Sammenligning af AFM og ODM: Gitre i kvarts

Det første vi skal gøre er at vælge en model ud fra de eksperimentelle data. Figur 4 viser to kurver, den øverste kurve viser signalet for det transmitterede lys og den nederste kurve viser forholdet mellem lyssignalet der afbøjes mod venstre og højre. Da sidstnævnte tilnærmelsesvis er en ret linie med værdien 1, er signalerne fra højre og venstre side identiske, hvorfor vi skal bruge en symmetrisk model. Da det er tale om dybe strukturer vælger vi en model der består af to trapezer der er stablet oven på hverandre, se figur 3. ODM dataanalysemetoden består nu i at variere parametrene for denne model og sammenligne de herved fremkomne spektre med det målte spektrum. Det spektrum som har den mindste afvigelse fra det målte svarer til de bedste parametre for modellen, se figur 3 og tabel 1.



Figur 4. Til venstre: målt spektrum (rød kurve) og modelleret spektrum (lyseblå kurve) for et kvartsgitter med gitterperiode $\Lambda = 1013$ nm. Den nederste kurve viser forholdet mellem diffraktionsordnerne spredt til venstre og højre, da forholdet er ca. 1 er der tale om en næsten symmetrisk struktur. Til højre: den beregnede topografi sammenlignet med et SEM-billede af prøven. SEM-billede fra Teknologisk Institut.

Modelparameter	$\gamma_1(^{\circ})$	$\gamma_2(^{\circ})$	$h(\text{nm})$	$h_b(\text{nm})$	$f(\%)$	$w(\text{nm})$
ODM	$80,0 \pm 0,8$	$87,0 \pm 0,7$	1945 ± 10	855 ± 40	$40,3 \pm 0,5$	652 ± 4
AFM	$80,9 \pm 0,4$	$88,3 \pm 0,4$	1950 ± 15	740 ± 45	$38,3 \pm 1,0$	653 ± 15
SEM	–	–	–	–	ca. 44,5	ca. 649

Tabel 1. Sammenligning af ODM-, AFM- og SEM-målinger.

Konklusion

Vi har demonstreret at man kan måle dybe gitre i en gitterproduktion. Da en måling tager mindre end et minut er ODM en god teknik til at styre procesparametrene i et produktionsmiljø. Forfatterne arbejder på at udvide servicetilbuddet til nye problemstillinger.

Litteratur

- [1] P.-E. Hansen and N. Agersnap Optical Diffraction Microscope for Measuring Submicron Gratings. Suss Report 1st Quarter 2004.
- [2] P.-E. Hansen and J. C. Petersen (2006), Hurtige overfladekvalitetsmålinger i en driftssituation. *Teknisk nyt* nr. 46, 2006.
- [3] J. Garnæs P.-E. Hansen, N. Agersnap, J. Holm, F. Borsetto, and A. Kühle (2006), Profiles of high aspect ratio grating determined by optical diffraction microscopy and atomic force microscopy, *Appl. Opt.* Vol 45, page 3201-3212 (2006).
- [4] P.-E. Hansen, N. Agersnap, A. Kühle, J. Garnæs and J. C. Petersen (2007), Profile characterization using optical diffraction microscopy (ODM), *Proc. Northern Optics* 2006, IEEE, page 35-39 (2007), ISBN 14244-0435-5.
- [5] P.-E. Hansen and L. Nielsen (2008), Combined optimization and hybrid scalar-vector diffraction method for grating parameters determination, *Proc. of the 10th Anniversary International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology*, Euspen, page 516-521 (2008), ISBN 13: 978-09553082-5-3.



Poul-Erik Hansen, ph.d., er videnskabelig medarbejder hos Dansk Fundamental Metrologi og arbejder primært med optiske teknikker til studier af micro- og nanostrukturer. Arbejdede tidligere med udvikling af ODM hos LuKa OptoScope og holografisk kopiering af gitre hos ADC Danmark.



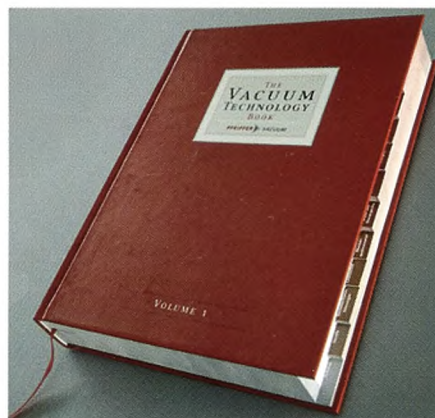
Kai Dirscherl, ph.d. i matematisk modellering (2000) indenfor nanometrologi. Ansat som videnskabelig medarbejder hos Dansk Fundamental Metrologi, hvor han er ansvarlig for DFM's kompetenceområde "Nano". Forsker i bl.a. nanopartikler, udvikling af nye målemetoder samt fremstilling og certificering af referencematerialer.



Jørgen Garnæs, ph.d., er videnskabelig medarbejder hos Dansk Fundamental Metrologi og arbejder primært med nøjagtig udmåling på nano- og mikrometerskala med den direkte afbildningsmetode atomic force mikroskopi. Han er koordinator for kalibrering af måleklodser og kontaktperson for længdemåling indenfor det europæiske samarbejde mellem metrologiske institutter.

PFEIFFER VACUUM

NYT KATALOG



Kan rekvireres ved henvendelse:

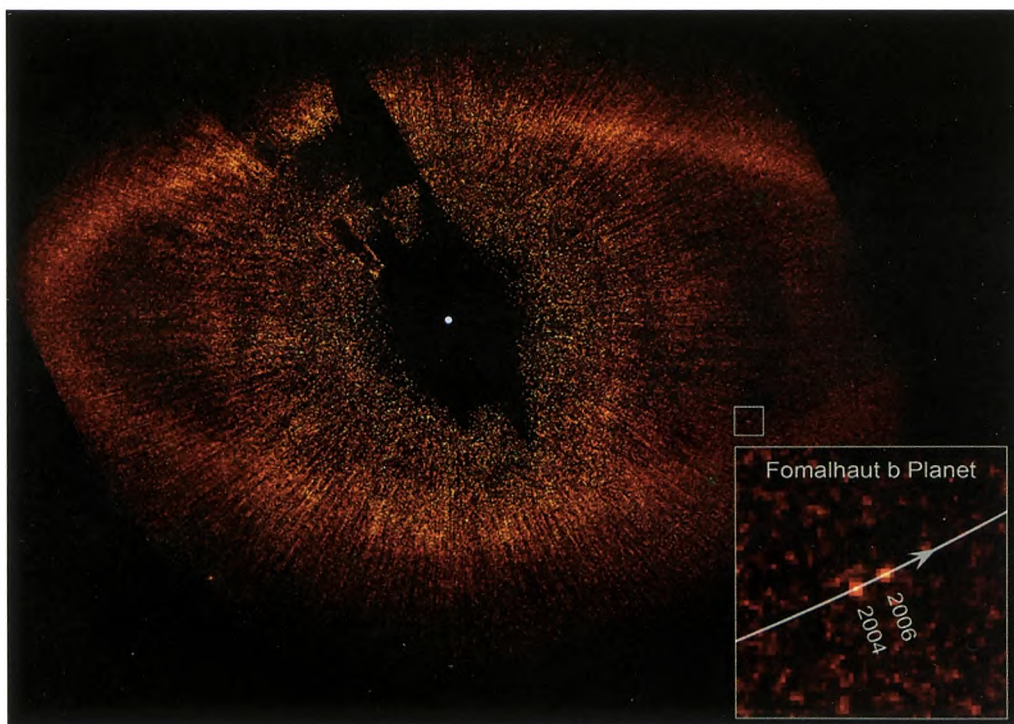
Tlf. 4352 3800 Fax 4352 3850
efa@pfeiffer-vacuum.dk

Direkte observation af en exoplanet

En exoplanet, dvs en planet ved en anden stjerne end Solen, er ikke nem at opdage, men det har alligevel været muligt indtil nu at opdage og bekræfte 332 exoplaneter ved indirekte observationer. Der er mange forskellige måder, man kan foretage disse indirekte observationer på. De fleste bygger på udspekulerede metoder, hvor planetens tilstedeværelse bestemmes ved dens påvirkning af dens omgivelser. Det kan f.eks. være ved at exoplaneten rykker lidt i værtsstjernen eller ved at benytte, at planeten virker som en gravitationel linse, der ændrer på udseendet af en baggrundslyskilde. Men nu er det også lykkedes for Hubble Rumteleskopet

at observere en planet direkte i almindeligt synligt lys.

På den sydlige himmelkugle har man ved stjernen Fomalhaut i stjernekonstellationen Piscis Austrinus (Sydlige Fisk) observeret en planet, der har fået navnet Fomalhaut b. Stjernen Fomalhaut ligger cirka 25 lysår fra Jorden. Astronomerne vurderer, at planeten har en masse på omkring tre gange Jupiters masse og den kredser omkring stjernen i en afstand af 119 AE (1 Astronomisk Enhed er den gennemsnitlige afstand mellem Jorden og Solen). Planetens beliggenhed gør at dens omløbstid er meget lang – omkring 872 år. Til sammenligning er Pluto omkring 40 AE fra Solen og har en omløbstid på næsten 248 år.



De historiske observationer fra Hubble Rumteleskopet af planeten ved stjernen Fomalhaut. Lyset fra stjernen er blødet af. Den lysende prik nederst til venstre er en baggrundsstjerne. Indsat er vist positionerne af Fomalhaut b i 2004 og 2006 (NASA/ESA).