

KVANT

Marts
2009

1

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 20. årgang

I DETTE NUMMER:

- BØRN AF GALILEO
- JÆTTESTUER OG ASTRONOMI
- ATOMURE OG DERES ANVENDELSER
- MULTIVERSET – VIDENSKAB ELLER METAFYSIK?
- DIAGNOSTICERING AF MODERNE SOLCELLER
- NORDISK ÅRSMØDE I FYSIK
- 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: 2250. Tryk: Brunder Tryk ApS, Brønderslev. ISSN 0905-8893



Produktionsplan

Nr. 2-09 udkommer ca. 15. maj
Nr. 3-09 udkommer ca. 15. september
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Børn af Galileo <i>Mikael Svalgaard</i>	3
Billygter og laservåben – breddeopgave 34 og 35 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	7
KVANT-nyheder <i>Sven Munk og John Rosendal Nielsen</i>	9
Atomure og deres anvendelser <i>Anders Brusch og Jan W. Thomsen</i>	11
Annonce: Astronomidagene Hven 2009, 28.-30. august	17
Stjernehimlen <i>Michael Cramer Andersen</i>	18
Jættestuer i en astronomisk kontekst <i>Claus Clausen</i>	20
Multiverset – videnskab eller metafysik? <i>Helge Kragh</i>	24
KIF og WIPS Årsmøde 2009 <i>Tina Christensen</i>	27
Dansk Fysisk Selskabs Årsmøde 2009 bliver nordisk 16.-18. juni på DTU <i>Jørgen Schou</i>	28
Aktuelle bøger <i>Michael Cramer Andersen, Jens Olaf Pepke Pedersen og Finn Berg Rasmussen</i>	30
Diagnosticering af moderne solceller <i>Anders Rand Andersen</i>	33
Jets fra Centaurus A's sorte hul <i>John Rosendal Nielsen</i>	Bagsiden

Billedet på forsiden viser en kunstners opfattelse af "Multiverset". Hver boble er et helt univers som vores med sine egne naturlove. Nogle universer bliver store og når at udvikle galakser, stjerner og måske liv, mens andre kolliderer igen før der har nået at udvikle sig komplekse strukturer.

Teorierne om Multiverset er videnskabens bud på hvad der kan have ligget forud for dannelsen af vores univers, men er det overhovedet en videnskabelig teori når vi er afskåret fra at observere andre universer? Dette spørgsmål diskuterer *Helge Kragh* i artiklen side 24.



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.

Børn af Galileo

Af Mikael Svalgaard, NKT Photonics A/S

I år 1609 anvendte Galileo Galilei for første gang det nyligt opfundne teleskop til astronomiske observationer. I løbet af nogle få år opdagede han bl.a. eksistensen af måner omkring Jupiter, kraterer på Månen, pletter på Solen og faser på Venus. I anledning af 400-året for Galileos banebrydende arbejde søger vi igennem projekt 'Børn af Galileo' at give børn i folkeskolen en lignende oplevelse: at bygge sit eget teleskop og se verdensrummet for første gang.

Indledning

Projektet har til formål, at udvikle en 8-ugers Natur/Teknik undervisningspakke til folkeskolens 4.-6. klasse, som skal være tilgængelig for alle lærere i Danmark. Der er fire centrale idéer i 'Børn af Galileo' der supplerer den astronomiundervisning som de fleste skolebørn på et eller andet tidspunkt møder:

1. Hver elev bygger sit eget optiske instrument, et refrakterende teleskop.
2. Simple dags-øvelser og observationer af nattehimmelen med det selv-byggede teleskop.
3. Møde med en person, der videregiver begejstringen ved at udforske verden vha. naturvidenskab.
4. Oplevelsen af selv at se astronomiske objekter gennem et stort teleskop, der opsættes på skolen.

Projektet startede i september 2007 og strækker sig over to år med deltagelse af i alt 1000 børn. I denne periode bliver undervisningspakken løbende videreudviklet ved gennemførelse af forløb og efterfølgende evaluering med børn og lærere. På nuværende tidspunkt har 800 børn fordelt på 12 skoler gennemført undervisningsforløbet. Der er blevet afholdt midtvejs-evaluering, og justeringer baseret på børns og læreres tilbagemeldinger er gennemført. Ved projektets afslutning vil undervisningspakken være tilgængelig for alle landets skoler på en særligt oprettet hjemmeside.

Projektet har til huse på Danmarks Tekniske Universitet (DTU Fotonik) som yder lagerplads, IT support og administration. Det ledes af Mikael Svalgaard (Koheras A/S, tidl. DTU Fotonik) i samarbejde med lærer Carsten Andersen (Bellahøj Skole) og konsulent Erland Andersen. Projektet har modtaget næsten 230.000 kr fra Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, Corrit fonden, Experimentarium, Københavns Kommune, Optical Cluster Copenhagen samt Dansk Optisk Selskab.

Undervisningsforløbet (se boksen) starter med at børnene bygger teleskoper og instrueres grundigt i sikker brug af instrumentet (kig aldrig på Solen). Derefter følger øvelser på skolen i grundlæggende teleskop håndtering og optiske begreber som forstørrelse, synsfelt, lysstyrke og aberrationer. Midten af forløbet bruges på undervisning i astronomi sideløbende med at børnene får deres teleskop med

hjem og skal lave opgaver med observationer af nattehimmelen. Tilsidst kommer Mikael Svalgaard på besøg og fortæller om astronomi og rumforskning. Projektet kan afsluttes med en ekskursion til en astronomirelevant destination. Endvidere arrangeres et besøg på skolen med en stor astronomisk kikkert hvor objekter på nattehimmelen fremvises for alle skolens elever og deres familier.

Projekt forløb

Undervisningsforløbet strækker sig over 8 uger og er skitseret nedenfor:

uge 1 introduktion, kikkert bygges, sikkerhedsregler

uge 2 øvelser i kikkerthåndtering og optik

uge 3 flere øvelser med kikkert, laves gerne udenfor

uge 4-6 undervisning om astronomi, aften øvelser derhjemme med kikkert

uge 7 foredrag om astronomi

uge 8 mulig ekskursion (Bellahøj skoleplanetarium, Tycho planetariet, Kroppedal museum,); ellers endnu en uges astronomiundervisning i midterforløb.

Teleskopbyggesæt

Et centralt element i projektet er, at hvert barn skal have lov til selv at bygge (og beholde) sit eget teleskop. Nysgerrigheden, glæden og stoltheden over det selvbyggede teleskop er meget stor og er til stor nytte for det videre undervisningsforløb. Når teleskopet kommer med barnet hjem fungerer det som ambassadør for projektets idéer overfor familiemedlemmerne. 'Almindelige' folk har ofte meget vage idéer om hvad optik er og hvad det kan bruges til. De forbløffes tit over at man selv kan bygge et fungerende teleskop.

Under planlægningsfasen blev det hurtigt besluttet, at instrumentet skulle være en refraktor og af en relativt høj optisk kvalitet. Samlelinsen skulle ikke være af formstøbt plastik, i stedet gerne af slebet glas og forstørrelsen skulle være 10-30x. F-forholdet skulle ikke være for hurtigt; omkring f/10 da der ellers ville blive stillet for store krav til optisk kvalitet og kor-

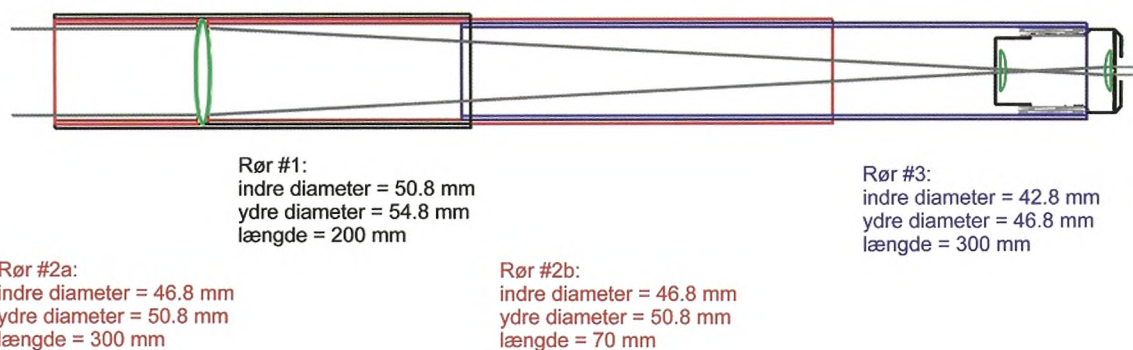
rigering. Samtidig skulle tubuslængden ikke overstige ca. 0,5 m da teleskopet ellers ville blive for svært at håndtere. Dermed skulle samlelinse have en diameter på ca. 5 cm. Disse parametre er typisk for en begynderkikkert indenfor astronomien: lysstærk optik og noget højere forstørrelse end hvad er typisk for binokulære kikkerter. Vi besluttede også, at der ikke skulle gøres noget for at rette op på billedinvertering (at alting står på hovedet og er spejlvendt) da dette ikke er væsentligt for en kikkert til astronomisk brug og fordi invertering er et af de vigtige optiske fænomener som eleverne gerne skulle stifte bekendtskab med.

Som led i forarbejdet til projektet undersøgte vi en lang række kommercielt tilgængelige kikkert-byggesæt da vi nødigt ville 'genopfinde hjulet'. Imidlertid var konklusionen, at disse byggesæt enten var for dyre eller havde for dårlig optik. Dernæst undersøgte vi priser på linser hos en lang række optikleverandører i Europa, USA og Japan men igen var prisen for høj, typisk 250 kr. pr. teleskop.

Endelig lykkedes det at få kontakt til et optik firma i Mumbai, Indien; meget passende kaldet 'Galileo Telescope Maker'! De solgte en slebet, bi-konveks $f=400$

mm glaslinse med en diameter på 50 mm, samt okularer i forskellige fokallængder. Teleskopets samlelinse er således ikke et egentligt objektiv sammensat af forskellige linser, materialer og krumninger og vil derfor i signifikant grad lide af primært sfærisk og kromatisk aberration. Okularerne er af Ramsden design med to identiske plano-konvekse linser med de plane flader vendt væk fra hinanden og separeret med en afstand der er ca. 8/10 af linsernes fokallængde. Dette design er ikke særlig anvendt idag som følge af signifikant transvers kromatisk aberration og lille arbejdsafstand for øjet.

Den optiske kvalitet er ikke så høj som oprindeligt tilstræbt. Da samlelinse består af et enkelt bikonvekst element er de værste aberrationer ikke korrigeret til bare første orden. De negative følger af disse aberrationer er primært astronomiske da teleskopet f.eks. ikke er i stand til at vise Jupiters måner eller Saturns ringe. Til gengæld vil eksistensen af signifikante aberrationer gøre det muligt at anskueliggøre flere grundlæggende optiske principper. Sagt på en pæn måde kan man sige, at projektet på denne måde har valgt at have et større fokus på indlæring af optik end ellers!



Figur 1. Mekanisk design af 'Børn af Galileo' teleskopet som består af en 50 mm samlelinse (grøn), okular (sort), klisterbånd (grå), samt fire rør sat indeni hinanden (sort, rød, blå).

Det er ikke nok at have fundet brugbare optiske elementer; disse skal også af ivrige børne-hænder kunne bygges ind i en robust tubus, der inkluderer en fokuseringsmekanisme og gerne også en vis beskyttelse af samlelinse mod snavs og dug ved brug udendørs om aftenen. Vores løsning er skitseret i figur 1 og omfatter i alt fire paprør samt lidt lim og tape. Paprørene er specialfremstillede til formålet af en Dansk producent og koster i alt 8 kr. pr. teleskop. Rørenes dimensioner er tilpasset således, at samlelinse lige netop kan sandwiches imellem to rør (rød) inde i et tredje rør (sort). Et fjerde rør (grøn) indeholder okulalet og sættes ind i røret med samlelinse. Diameteren af okular-røret er valgt således, at det kan trækkes frem og tilbage under fokusering uden at det falder ud af sig selv. Den tætte mekaniske tolerance på rørene aligner automatisk optikken vinkelret på den optiske akse og forhindrer transversal bevægelse under fokusering.

Det sidste element i teleskop konstruktionen er fremstilling af et dæksel ud af pap og malertape. Dækslet har to formål: 1) med lukket låg til beskyttelse af samlelinse mod støv og snavs, 2) med en ca. 2 cm

åbning til afmaskering af samlelinse ydre dele, mere herom nedenfor.



Figur 2. Sådan bygges 'Børn af Galileo' teleskopet.

Børne-teleskopet koster i alt ca. 60 kr. og kan samles på 1-2 undervisningstimer inkl. tørring af lim (figur 2). Kvaliteten af børnenes teleskoper har vist sig at være meget ensartet.

Efter realiseringen af det her beskrevne teleskop-byggesæt er der startet et lignende projekt i USA indenfor rammerne af FN's internationale astronomiår 2009. Projektet hedder 'Galileoscope' og sigter på at fremstille 1 million teleskop-byggesæt af en meget bedre optisk kvalitet end det her beskrevne. Prisen pr. teleskop er ca. 10 USD og derfor nogenlunde det samme som i vores projekt. På linket sidst i denne artikel kan teleskoperne bestilles; vær dog opmærksom på, at mindste bestilling er 1000 styk! Der er også en Europæisk forhandler der er begyndt at tilbyde kikkert-byggesæt i høj kvalitet til lignende priser (link nederst).

Praktiske øvelser

Inden børnene får teleskoperne med hjem og skal observere nattehimlen gennemgås en række øvelser om dagen på skolen (figur 3). Formålet er at lære børnene om grundlæggende kikkert håndtering, f.eks. at sigte, at fokusere, at holde kikkerten roligt. Der udføres øvelser hvor optiske begreber som forstørrelse, synsfelt, lysstyrke og aberrationer opleves. Ordet 'oplevelse' er brugt med vilje; det handler ikke om ligninger og teori – det handler om at vise børnene hvad disse fænomener går ud på og hvordan de selv kan styre dem.



Figur 3. Stolte børn fra 4. v på Bellahøj skole med deres selv-byggede teleskoper.

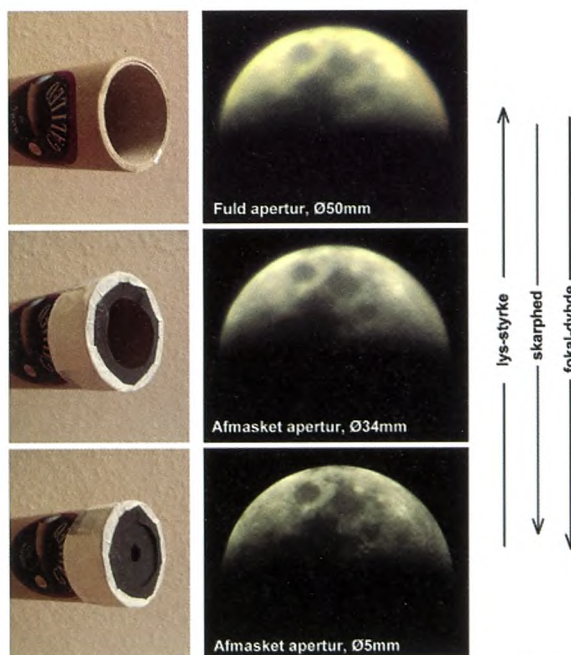


Figur 4. Et mikroskop er blevet lavet udfra to okularer. Opløsningsevnen er ca. 20 μm .

¹ Som 24-årig eksperimenterede Sacharias samtidigt med Johannes Lippershey med de første teleskopkonstruktioner, dog kom Lippershey først med patentansøgningen herom. Nogle år efter kom Sacharias gentagne gange på kant med loven for falskmønteri, så glæden ved at eksperimentere og opfinde kan altså også drives for vidt!

Eleverne får en blanding af 25 mm og 38 mm okularer og derudover er der nogle ekstra okularer på 9 mm og 12 mm. Derved kan børnene opleve hvordan forskellige okularfokallængder kontrollerer teleskopets forstørrelse efter formelen $f_{\text{samlelinse}}/f_{\text{okular}}$. Såvel børn som deres forældre er altid meget forundrede over at opdage at størrelsen af teleskopets synsfelt ikke styres af samlelinsens diameter, men af fokallængden på okulalet.

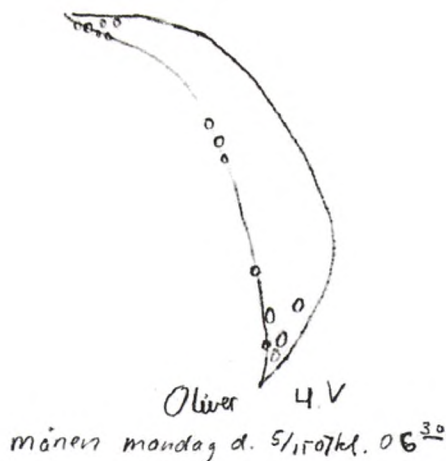
Anvendelsen af forskellige okularfokallængder muliggør endvidere, at eleverne kan bygge et mikroskop ved at sætte to okularer sammen med et stykke tape (figur 4). Eleverne eksperimenterer selv med forskellige okular kombinationer og vil opdage at de bedste resultater opnås med et så stort f-forhold som muligt og med den største fokallængde vendt nedad mod emnet under observation. Denne konstruktion er meget lig de tidligst kendte eksempler på multi-linse mikroskoper, såsom det Sacharias Janssen i 1595 som ti-årig byggede sammen med sin far. Sjovt nok havde Sacharias da samme alder som målgruppen for projekt 'Børn af Galileo'!¹. Disse simple mikroskoper kan let vise detaljer ned til ca. 20 μm og det åbner en hel verden af udforskningsmuligheder. Eksperimenterne med teleskop og mikroskopkonstruktion illustrerer tydeligt overfor børnene hvordan forskellige linser kan kombineres til optiske systemer, der har en langt bedre ydeevne end de individuelle bestanddele.



Figur 5. Illustration af optiske principper som børnene oplever med deres kikkert ved en gradvis afmaskering af samlelinsen. Fotografierne af Månen er optaget med det viste teleskop.

Børnene har også bygget et dæksel med et hul på 2 cm i diameter til montering foran samlelinsen. Herved kan flere grundlæggende optiske fænomener

illustreres, nemlig at aberrationers størrelse vokser med afstanden til den optiske akse, at lysstyrken er givet ved samlelinsens areal samt at fokal dybden øges med f -forholdet (figur 5). Børnene lærer at samlelinsens ydre dele skal være maskeret ved brug om dagen eller ved observation af Månen (figur 6). Ved observation af lyssvage objekter, som f.eks. gaståger, skal det fulde areal af samlelinsen til gengæld bruges.



Figur 6. Månen optegnet af Oliver fra 4.v på Bellahøj skole.

Forstørrelsen af teleskoperne kan variere fra ca. $10\times$ - $40\times$ og det er et problem at holde dem roligt nok til at kunne betragte billedet klart. En anordning skulle således findes for montering af teleskoperne. Imidlertid kom denne erkendelse først til os *efter* at budgetter var lavet og udstyr bestilt; derfor måtte konstruktionen helst ikke koste noget! Løsningen kom fra projektlederens svigerfar, Lasse Andersen, der er arkitekt: man tager en cykel og sætter den på hovedet, ligesom når den skal lappes. Dernæst spændes teleskopet fast på forhjulet med to kraftige elastikker (figur 7). Ved at dreje hjulet justeres teleskopets retning i højde og ved at dreje styret justeres retningen i azimuth. Det er da innovation i verdensklasse!



Figur 7. Der observeres med 'Børn af Galileo' teleskopet under Kulturnatten 2007. Bemærk teleskopets innovative alt-azimutalt opstilling!

Kæmpe-kikkert på skolebesøg

Udover et besøg for de involverede klasser med foredrag om astronomi afholdes der også et arrangement for

hele skolen hvor et stort astronomisk teleskop opsættes og en erfaren amatørastonom viser frem. Teleskopet til dette formål er indkøbt for projektets midler og består af en reflektor med et 45 cm $f/4.5$ hovedspejl (figur 8). Dette er et temmelig stort apertur som virkelig kan bringe selv svage objekter frem tydeligt på den lysforurenede himmel i Københavns-området. Klare objekter, såsom Orion tågen og Saturn fremstår så folk ofte ikke tror, at det billede de ser er virkeligt. Formålet med dette besøg er at begeistre børnene og deres familier, og at vise dem at optik og astronomi er sjov og spændende. Der er næsten altid nogle familier der gerne vil vide hvor de kan købe et teleskop. Links til begyndervejledninger, lokale astronomiforeninger og teleskopforretninger findes derfor på projektets hjemmeside.



Figur 8. Projektets 18" $f/4.5$ teleskop på skole besøg (Kongevejens skole).

Perspektiv

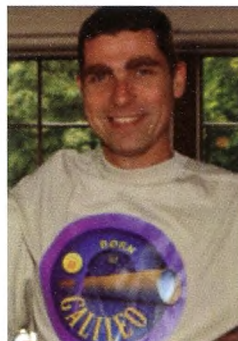
Når 'Børn af Galileo' slutter vil vi have opbygget en masse erfaring i hvordan optik og astronomi kan udbredes på nye måder i folkeskolen. Projektets hjemmeside med vejledninger og undervisningsmateriale vil være færdigudviklet og tilgængelig for alle. Der er dog to væsentlige problemer som vi endnu ikke har løst: skalering og finansiering. Skalering – eller hvordan får man udbredt f.eks. foredrags- og kikkert-besøg til mange skoler over hele landet? Svaret kan ligge i inddragelse af allerede eksisterende kræfter i f.eks. Dansk Naturvidenskabs Festival som i forvejen arrangerer foredrag på skoler og i lokale amatørastonomiske foreninger, der har teleskoper og ekspertise. Sidstnævnte findes over hele landet og bugner af engagerede ildsjæle der måske kunne organiseres. Mht. finansiering er der flere muligheder, der spænder fra '*gratis for skolen*' (midler fra fonde, kommuner eller staten skal skaffes) til '*skolerne betaler*'. Pris for byggesæt er ca. 60 kr. pr. elev.

Uanset finansierings-model skal der være en central aktør som står for at indkøbe materialer, oplagring, samle byggesæt og distribuere dem.

FN har udnævnt næste år, 2009, som 'International Year of Astronomy' i anledning af 400-året for teleskopets indførelse. På nationalt og internationalt plan har organisationer i mange lande store planer for promovering af astronomi i denne forbindelse, og finansieringsmulighederne kan være forbedret af dette momentum. Vi håber, at erfaringerne fra 'Børn af Galileo' kan bruges i et dansk initiativ i denne sammenhæng, men for at det skal lykkes kræves deltagelse af en større organisation end de tre personer som står bag dette projekt. Experimentarium arbejder pt. på at videreføre dele af projektet med de erfaringer vi har opnået. Der er ligeledes forberedelser i gang, ledet af Carsten Andersen, om et projekt hvor 1000 kikkert-byggesæt skal distribueres på Centre for Undervisningsmidler i Danmark således at alle landets skoler kan rekvirere byggesæt.

Litteratur

- [1] Projekt 'Børn af Galileo's hjemmeside med undervisningsmateriale, nyheder og baggrund, www.boernafgalileo.dk.
- [2] Dansk hjemmeside for Det Internationale Astronomiår – 2009, www.astronomi2009.dk.
- [3] Information om Galileoscope, der er en del af 'International Year of Astronomy', <http://astronomy2009.us/optics/galileoscope/>
- [4] Europæisk teleskopforhandler, forhandler lavpris MYScope byggesæt, <http://www.galileo.cc>



Mikael Svalgaard er fysiker og har forsket 14 år i anvendt optik på Danmarks Tekniske Universitet. I dag arbejder han på NKT Photonics A/S i Birkerød med fremstilling af lasere. Han har tre børn med polarforsker Signe Andersen og er ivrig amatørastonom. Se mere på www.leif.org/mikael.

Billygter og laservåben

– breddeopgave 34 og 35 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, NSM, RUC

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. Opgaverne i sidste nummer af KVANT var disse breddeopgaver fra RUC (nr. 34 og 35 i rækken her i KVANT):

34 og 35. Billygter og laservåben

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

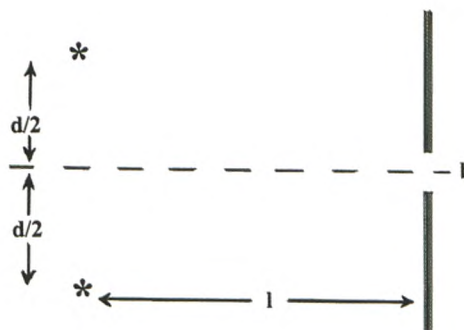
1. Løsningen til den første af opgaverne gives i form af en udfoldning af opgaven:

“Fra en lyskilde sendes lys med bølglængden λ vinkelret mod en spalte. Afstanden fra lyskilden til spalten, l , er stor i forhold til spaltebredden, b .

1. Skitser vinkelfordelingen af lysintensiteten bag spalten. Vinklen mellem retningen, hvor der er maksimal lysintensitet, og retningen, hvor lysintensiteten er 0 første gang kaldes $\Delta\theta$. Hvor stor er $\Delta\theta$?

Lyskilden flyttes afstanden $d/2$ vinkelret på spaltenormalen, jvf. nedenstående figur.

2. Ændrer det $\Delta\theta$, forudsat at d er meget mindre end l og $\Delta\theta$ lille?



Herefter tænkes på to ens lyskilder anbragt som på figuren.

3. Find den værdi af l udtrykt ved b , d og λ , hvor maksimum i vinkelfordelingen af lysintensiteten bag spalten hidrørende fra den ene lyskilde falder sammen med første nulpunkt i vinkelfordelingen af lysintensiteten fra den anden lyskilde.

Hvis de to lyskilder er de to lygter på en bil og spalten er øjepupillen, er den fundne værdi af l ca. den afstand, hvori det bliver umuligt at skelne de to lygter fra hinanden med det blotte øje.

4. Udregn afstanden, idet $d = 2 \text{ m}$, $b = 1 \text{ mm}$ og $\lambda = 500 \text{ nm}$."

Med svarene $\Delta\theta = \lambda/b$ på spørgsmål 1, *nej* på spørgsmål 2, og l givet ved $d/l = \Delta\theta$, dvs. $l = bd/\lambda$ som svaret på spørgsmål 3, bliver svaret på spørgsmål 4 og breddeopgaven, at man ophører med at kunne skelne de to lygter på en bil fra hinanden, når bilen er et sted mellem 1 km og 10 km borte (med de angivne størrelser 4 km borte, og 1,22-4 km borte, hvis der skal tages højde for, at pupillen er en cirkulær åbning og ikke en spalte).

2. Løsningen til den anden opgave (fra Reagans tid i 1983) er analog til løsningen til den første opgave på den måde, at det også her drejer sig om at sammenligne en geometrisk defineret vinkel med udtværvingsvinklen af en lysstråle som følge af bøjningen ved dens passage igennem en åbning. Figuren kan igen benyttes, idet lyset nu i modsætning til i billygteopgaven bevæger sig mod venstre fra højre. b er så linsearrangementets diameter, l afstanden til målet og d størrelsen af det mindst mulige område, som det er muligt at fokusere laservåbnets energi på. Igen er den bestemmende ligning:

$$\lambda/b = d/l \quad (1)$$

Med $\lambda = 500 \text{ nm}$, $b = 10 \text{ m}$ og $l = 1000 \text{ km}$ fås heraf $d = 5 \text{ cm}$. Laservåbnet vil altså ikke størrelsesordensmæssigt kunne fokusere skarpere end 10 cm.

Kommentar

1. I KVANT nr. 3, oktober 2000, i KVANT nr. 1, april 2001, og i KVANT nr.2, juli 2008 blev løsningerne til tre breddeopgaver, som i tilfældet med billygteopgaven her, givet i form af udfoldninger af opgaverne. De fire udfoldede og formaliserede opgaver tilhører et sæt på 12, der modsvarer 12 breddeopgaver. Som nævnt i tidligere KVANT artikler har jeg lavet sættet som et af midlerne til over for de studerende på RUC at tydeliggøre, hvad det er for en slags bolde, der går efter i en undervisning byggende på de åbent formulerede breddeopgaver. Og som også tidligere nævnt ligger

der selvfølgelig også en indirekte kritik af fremherskende opgavetyper i fysikundervisningstraditionen gemt i modstillingen imellem de åbne breddeopgaver og deres opdelte og formaliserede udfoldninger, selvom de udfoldede opgaver i forhold til traditionelle fysikopgaver er på grænsen til at være karikaturer.

2. I den forrige artikel i rækken i KVANT nr. 4, december 2008 nævnte jeg risikoen for, at også breddeopgaverne i længden forfalder til at blive typeopgaver, som ikke udfordrer begrebsindlæring i dybden. Men derimod appellerer til at træne situationsbundne løsningsstrategier uden dybere forståelse af, hvad der foregår. Jeg nævnte også problemet, at der er en tendens til, at sværhedsgraden af breddeopgaverne stiger med årene i bestræbelsen på at undgå forfaldet til typeopgaver.

Men spørgsmålet om nogle foreliggende opgaver kan karakteriseres som typeopgaver eller ikke, er ikke til at afgøre i al abstrakthed. For det første kan opgaven, der for den ene studerende fungerer rutinepræget, for den anden udfordre begrebsindlæringen, alt afhængig af den enes og den andens forudsætninger. For det andet er kernen i al fysisk problemløsning identificering af, hvilken type problem der foreligger. I Thomas Kuhns fysikinspirerede beskrivelse af videnskabelige paradigmer ved faglige matrixer er paradigmat sæt af bærende "eksemplarer" således en hjørnesteen. Og sat på spidsen er en fysiker – i modsætning til f.eks. en ingeniør – i dette lys en person, der fungerer efter devisen: Løsninger (= eksemplarer = typer) haves, problemer søges. Eller sagt på en anden måde: Fysikeren undersøger, om foreliggende problemer kan studeres med en lup fra fysiker optiksettet, og lader problemet ligge, hvis det ikke er tilfældet.

Så spørgsmålet om nogle foreliggende opgaver kan karakteriseres som typeopgaver eller ikke bør konkretiseres til, om løsningen af opgaverne for de studerende fungerer som øvelser af situationsbundne færdigheder eller bidrag til tilegnelse af nye begreber og tænkemåder og – ikke mindst – udvidelse af anvendelsesrækkevidden af allerede delvis tilegnede begreber og tænkemåder. I forhold til undervisningen på breddekurset i fysik på RUC er laseropgaven og billygteopgaven efter min vurdering så tilpas forskellige, at løsningen af den ene ikke af de studerende umiddelbart opleves som afskrift af den anden. Og hvis de når til at forstå de to opgaver som variationer over det samme tema, er et hovedmål med undervisningen lykkedes.

Breddeopgave 36. Kaffeskvulp

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra sommereksamen 2008, nr. 36 i rækken her i KVANT):

Hvad er skvulpfrekvensen i en kaffekop? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.

KVANT-nyheder

Af Sven Munk og John Rosendal Nielsen, KVANT

Hvem benyttede teleskopet først?

ASTRONOMI. År 2009 er udråbt til internationalt astronomiår, da det er 400 år siden Galileo Galilei observerede nattehimlen med sin hjemmelavede kikkert. Ved at vende kikkerten mod himlen gjorde Galilei mange opdagelser, der på afgørende måde har været med til at forme vores naturvidenskabelige verdensbillede.

Men Galilei er måske ikke den første til at udføre teleskopobservationer af himlen. I en nyligt udgivet artikel argumenterer historikeren Dr. Allan Chapman fra Oxford universitet, at den engelske astronom Thomas Harriot lavede observationer med teleskop af Månen flere måneder tidligere end Galilei. I juli 1609 rettede Harriot sit teleskop mod vores måne og tegnede ved samme lejlighed månekort af meget høj kvalitet. Kortlægningen af Månen fortsatte i perioden fra 1610 til 1613. Kortene er desværre ikke alle daterede, men de senere kort er rige på detaljer. Kvaliteten blev først overgået årtier senere.



Når man tager hensyn til teleskopernes begrænsede synsfelt er det utroligt at Harriot kunne lave så detaljeret kort. Men han offentliggjorde aldrig sine imponerende Månekort, så på trods af engelske astronomers og historikers ihærdige arbejde for den nærmest ukendte Harriot, er det naturligt at vi hylder Galileo for hans revolutionerende arbejde indenfor astronomien i år.

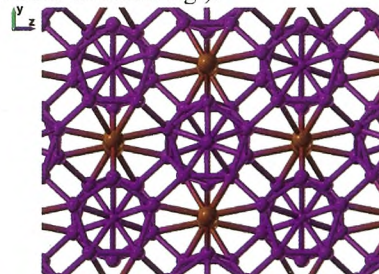
Kilder: www.tycho.dk/article/view/5271/; www.ras.org.uk/-index.php?option=com_content&task=view&id=1547&Itemid=2

Bor har usædvanlig egenskab

FASTSTOFFYSIK. Efter at have fremstillet meget rent Bor (forurening under 1 ppm) har forskerne påvist en hidtil ukendt egenskab ved dette grundstof. Bor bruges til mange formål, bl.a. betinget af dets hårdhed. Således er borkarbid næsten lige så hårdt som diamant.

To forskergrupper har beskæftiget sig med dette rene bor. Den ene gruppe kunne udsætte det for et meget stort tryk (op til 30 kN/mm²) og en temperatur på 1500 °C. Herved blev det afsløret, at bor kunne optræde i en polymorf form. Gruppen var dog ikke i stand til at konkretisere dette nærmere. Det blev en anden forskergruppe, som (via en

udviklet beregningsmetode til bestemmelse af materials stabile krystalstruktur) afdækkede bors hemmelighed. Boratomerne arrangerer sig på en sådan måde, at de optræder som to slags "molekyler" i krystallet. Den ene slags består af 12 boratomer (isokaeder) og den anden slags af 2 boratomer (af udseende som en håndvægt).

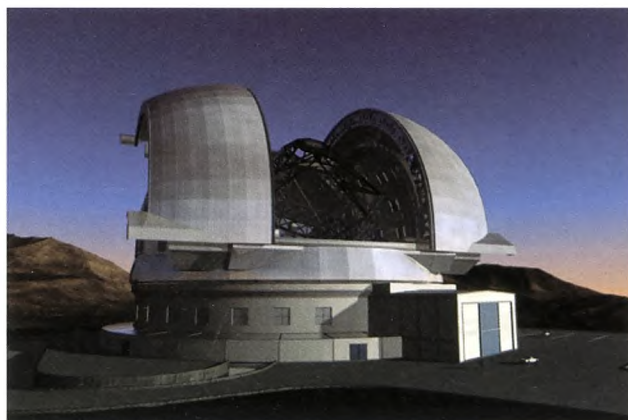


Som følge af denne omplacering af atomer bliver der også rykket i elektronerne. De forskyder sig så meget, at forskerne bruger betegnelsen ionisering om fænomenet. Et klassisk eksempel på ionisering finder man i salt (f.eks. NaCl), hvor to forskellige grundstoffer vekselvirker. I tilfældet bor er der kun et grundstof - og det er det usædvanlige.

Kilder: [1] Oganov A.R. m.fl. "Ionic high-pressure form of elemental boron", Nature online publ. 28. juni 2009; [2] Solozhenko V.L. m.fl. "On the hardness of a new boron phase, ...", J. Superhard Mater. 30, 428-429 (2008).

Europas 20-årsplan for astronomi

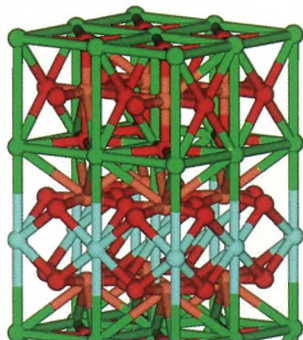
ASTRONOMI. Europas astronomer er samlet i et nyt netværk kaldet ASTRONET, der er finansielt støttet af europakommissionen. De har i slutning af sidste år fremsat en plan for den astronomiske forskning i de næste tyve år. Der er mange spændende projekter, hvoraf to af dem er udset til at være Europas nye astronomiske flagskibe. Det ene skal forbedre radioastronomien med nyeste teknologi, hvilket endnu er under planlægning. Det andet projekt er et nyt teleskop, European Extremely Large Telescope (E-ELT), der bliver verdens største optiske teleskop med et 42 m spejl. Det skal studere Universet i synligt og infrarødt lys. E-ELT skal bruges til observationer af bl.a. exoplaneter, galaksedannelse og mørkt stof.



Kilde: www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2008/pr-43-08.html

Teori for højtemperatursuperleder

FASTSTOFFYSIK. Siden 1986 har forskere søgt at beskrive højtemperatur superledere teoretisk. Det har vist sig at være ret vanskeligt. Se blot krystalstrukturen i en keramisk superleder (figuren viser YBaCuO).



For nylig blev der publiceret lovende resultater af teoretisk karakter [1]. Målinger med uelastisk neutronspreddning og fotoemissionsspektrometri (ARPES) har været i harmoni med de teoretiske overvejelser. Det for superledning nødvendige elektronpar skabes via en magnetisk kobling (spin-excitation). Den traditionelle gittersvingningsmodel har således fået en afløser.

Kilder: [1] T. Dahm m.fl. Nature Physics (<http://dx.doi.org/10.1038/nphys1180>) og <http://arxiv.org/abs/0812.3860> (cond. mat)

Plutos atmosfære

ATRONOMI. Europæiske astronomer har med ESO's Very Large Telescope (VLT) lavet detaljerede observationer af Plutos atmosfære. De nye observationer viser at Plutos tynde atmosfære indeholder store mængder metan (også kendt som naturgas), og temperaturen i den nedre del af atmosfæren er ligeledes blevet studeret.



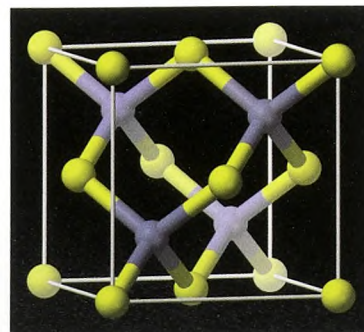
Tidligere havde man kun målinger af Plutos øvre atmosfære, hvor temperaturen er omkring -170°C . Det er ca. 50 grader varmere end ved Plutos overflade. De nye observationer med det europæiske VLT afslører, at den nedre del af atmosfæren er omkring 40 grader varmere end overfladen. Grunden hertil skal findes i den sublimeringsproces, der opstår ved at en del af sollyset går til at omdanne is på dværgplanetens overflade til damp. Denne proces kan sammenlignes med den kølende virkning vi mærker på vores hud, når vi sveder. Fordampningen af sveden optager energi fra huden, så den afkøles.

De store mængder metan kan være en god forklaring på plutoatmosfærens egenskaber. Det er dog ikke helt afklaret, hvordan mængden af metan er fordelt. Men det vil der blive rådet bod på, når NASA-sonden New Horizons ankommer til Pluto og dens tre måner i 2015.

Kilder: www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2009/pr-08-09.html; www.tycho.dk/article/view/5345/

Zinkoxid som halvleder

FASTSTOFFYSIK. Med et energigab på 3,4 eV har mange forskere spekuleret på, om ikke ZnO kunne bruges i elektroniske komponenter. Taler man om opto svarer dette energigab til en bølglængde på 365 nm og dermed i den blå ende af spektret. Vil man lave en LED (lysemitterende diode) skal der være en pn-overgang. De hidtige forsøg på at skabe et p-område i ZnO ved at dotere med acceptoratomer må dog betegnes som reelt mislykkede. ZnO synes at have en præference for at være en n-type halvleder.

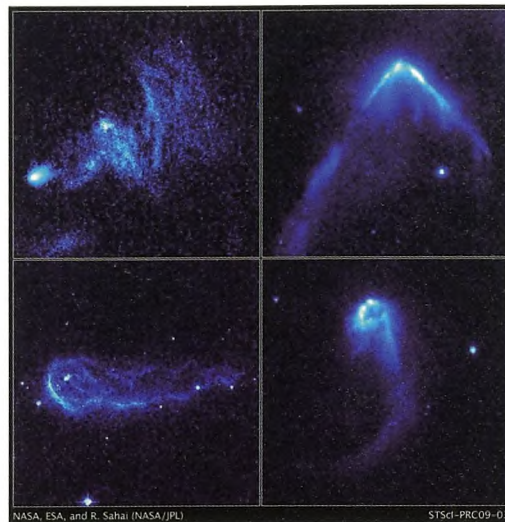


Nogle forskere har nu fundet årsagen til, at det er så vanskeligt at lave p-områder i ZnO. Synderen er brint, som diffunderer ind i ZnO krystaller. Sådanne brintatomer afgiver meget let en elektron, og dermed fungerer brint som donoratom (=n-område). Forskerne har nu vist, at hvis man kan holde brinten væk fra ZnO-krystallet er der ingen problemer med at fremstille et p-område – og dermed den ønskede pn-overgang.

Kilde: H. Qui, Phys. Rev. Let. Bd. 101, 236401; http://en.wikipedia.org/wiki/Zinc_oxide

Stjerner på udflugt

ATRONOMI. Hubble teleskopet har indfanget nogle situationer, hvor stjerner bevæger sig gennem kosmiske tåger. Astronomerne mener at der er tale om yngre stjerner (måske 1 mill år gamle), som bevæger sig gennem tågerne med en hastighed på 50 km/s. Det man ser på billedet, er den del af tågerne, som opvarmes af partikler fra den passerende stjerne.



Det er middelstore stjerner (8 solmasser), som har flyttet sig 150 lysår fra det sted hvor de blev født.

Kilder: NASA Astrophysics Data System, <http://adsabs.harvard.edu> og American Astronomical Society (aas.org)

Atomure og deres anvendelser

Af Anders Brusch og Jan W. Thomsen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

De mest præcise målinger i fysikken laves i dag ved hjælp af atomure, hvor man kan undersøge atomers energistruktur i et meget kontrolleret miljø. De bedste af disse ure har i dag en nøjagtighed på 16 betydende cifre eller bedre, hvilket svarer til et ur der taber et sekund på omkring 300 millioner år. Igennem fysikkens historie har præcise målinger af atomer været vigtige for udviklingen af nye teorier og test af de eksisterende. Et klassisk eksempel er målinger af brints energistruktur og deres betydning for Bohrs udvikling af sin atommodel. I denne artikel vil vi beskrive hvordan atomure virker ved at fokusere på nogen af de tekniske fremskridt der er sket de sidste 10-20 år i dette felt. Desuden vil vi med nogle eksempler illustrere hvilke muligheder atomures utrolige nøjagtighed giver.

Atomure

I et atomur lader man et elektromagnetisk felt fra en lokal svingningskreds eller oscillator, f.eks. i form af mikrobølgestråling eller en laser, vekselvirke med en samling atomer i en velkendt tilstand, som har en egnet resonans imellem to energitilstande. Herefter undersøges det hvilken tilstand atomerne befinder sig i, hvorved der opnås information om forskellen imellem frekvensen af det anvendte felt og frekvensen af den atomare resonans som vi ønsker at undersøge. Denne viden kan bruges til at styre frekvensen af laseren med, så den bliver identisk med den atomare resonansfrekvens. Hvis man hele tiden gentager denne proces, vil laserens frekvens være meget stabil og kan bruges som en reference eller ur.

Specielt to parametre anvendes til at bestemme kvaliteten af et atomur, stabiliteten og nøjagtigheden. Stabiliteten er udtryk for de statistiske usikkerheder af frekvensen af atomuret. Denne afhænger specielt af to parametre, signal til støj forholdet i målingen af atomernes sluttilstand samt kvalitetsfaktoren $Q = \nu/\Delta\nu$ af den atomare overgang, hvor ν er resonansfrekvensen af den atomare overgang der anvendes og $\Delta\nu$ er den eksperimentelle liniebredde af overgangen.

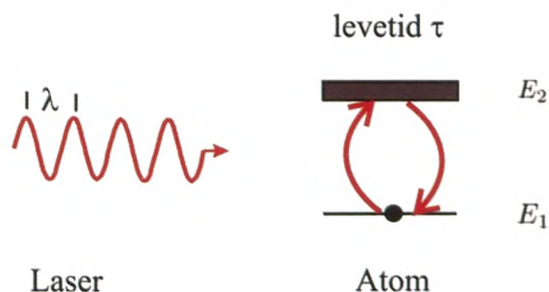
Nøjagtigheden er et mål for hvor godt man kontrollerer omgivelsernes påvirkning af den atomare resonans man benytter i atomuret. Der er mange forskellige effekter der kan påvirke atomet og resultere i et skift af resonansfrekvensen. Nogle af disse er det ikke muligt at fjerne helt, og det er derfor nødvendigt at måle hvordan de påvirker atomuret så man kan korrigere for dem. Nøjagtigheden udtrykker hvor præcist disse korrektioner er kendt.

Et eksempel er Zeeman skiftet der skyldes magnetfelters påvirkning af atomet. Ved at anvende strømførende spoler og magnetiske skjolde er det muligt at reducere magnetfeltet i eksperimentet så meget at den atomare resonans ikke bliver påvirket.

Sortlegemestråling er en anden kilde til skift af den atomare frekvens. Ethvert legeme udsender lys med et spektrum der afhænger af dets temperatur. Ved stuetemperatur er det udsendte lys i den infrarøde del af spektret hvilket kan give et betydeligt skift.

1. Atomar resonans og overgangsfrekvens

Atomer har veldefinerede energiniveauer som vist på figuren nedenfor, hvor vi har tegnet grundtilstanden, den laveste energitilstand af atomet, og den første anslåede tilstand. Ved brug af elektromagnetisk stråling, som f.eks. lys fra en laser, kan elektronen drives mellem de to energiniveauer E_1 og E_2 . For at drive elektronen skal frekvensen være tilpasset Bohrs resonans betingelse som angivet, hvor $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Js er Plancks konstant, ν_0 frekvensen af den atomare resonans, λ bølgelængden og c lysets hastighed. Frekvensen ν_0 er altså atomurets frekvens. Elektronen befinder sig kun i det øvre energiniveau et endelig tidsrum τ , kaldet for levetiden, før den spontant henfalder til grundtilstanden. Det giver anledning til en endelig liniebredde givet ved $\Delta\nu = 1/(2\pi\tau)$. Er lysets frekvens inden for intervallet $\nu_0 \pm \Delta\nu/2$ drives elektronen effektivt imellem de to tilstande. Nogle atomer har kort levetid og dermed stor liniebredde, andre atomer som f.eks. alkali-jord metallerne kan have meget lang levetid og tilsvarende smal liniebredde.



$$E_2 - E_1 = h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda}$$

For cæsiumatomuret benyttes mikrobølger på 9.192.631.770 Hz til at drive elektronen med en Q -værdi på 10^9 . I moderne atomure benyttes optiske overgange som f.eks. 429.228.323.965.507 Hz i strontiumatomuret hvor Q -værdi er på ca. 10^{15} .

Den eneste måde helt at fjerne dette på er at køle eksperimentet ned til temperaturer i nærheden af det absolutte nulpunkt, hvilket ikke altid er teknisk muligt. I stedet kontrollerer man temperaturen af den eksperimentelle opstilling meget præcist, typisk bedre end $0,5^{\circ}\text{C}$.

Karakteriseringen af de forskellige systematiske effekter er eksperimentelt krævende, men kan også give ny indsigt i fundamentale atomare processer, f.eks. kollisioner imellem atomer ved lave temperaturer.

Atomure har i de sidste 10 år gennemgået en bemærkelsesværdig udvikling, der skyldes udviklingen af nye teknikker der har gjort det muligt at overkomme nogen af de største problemer der tidligere begrænsede atomure. Dette har medført forbedringer inden for de to kvalitetsparametre og betydet udvikling af atomure baseret på mange forskellige grundstoffer. I denne artikel vil vi fokusere på nogle af disse problemer og hvordan deres løsning har revolutioneret præcisions-spektroskopian.

Laserkøling

I de tidlige atomure brugtes gasceller med iod eller andre molekyler omkring stuetemperatur eller atomstråler med cæsium eller rubidium med en middelhastighed på flere hundrede meter pr. sekund. Selvom man i disse ure bruger teknikker der i høj grad er ufølsomme overfor Doppler effekten (se boks 2) er der stadig en stor usikkerhed forbundet med atomernes bevægelse. De bedste af denne type ure er de primære sekundstandarder der bruger en stråle cæsium (se figur 1). Man bruger dette grundstof da sekundet siden 1967 har været defineret som 9.192.631.770 svingninger af strålingen fra mikrobølgeovergangen i grundtilstanden af cæsium.



Figur 1. Primær sekundstandard baseret på en stråle af cæsiumatomer. Dette ur var den amerikanske tidsstandard fra 1975 til 1993.

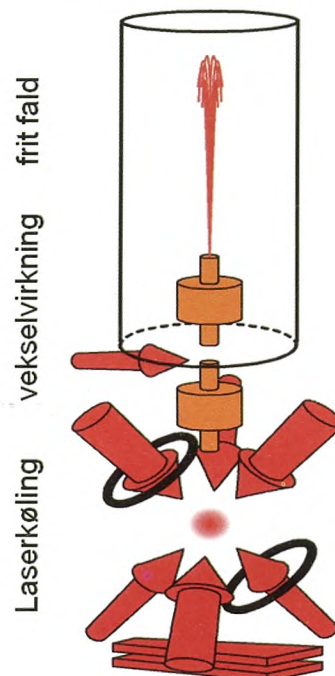
Denne type ure kan laves meget kompakte og kan køre kontinuert i meget lang tid og er i dag grundlaget for den internationale tidsskala. Denne type ure bruges også hvor der er behov for præcis synkronisering som f.eks. i telekommunikation og i navigationssatellitter som GPS og det kommende europæiske navigationssystem Galileo. De bedste af denne type ure har en relativ

unøjagtighed på omkring $5 \cdot 10^{-15}$ og en tilsvarende statistisk usikkerhed. Denne begrænsning skyldes primært brugen af varme atomer på grund af ikke kompenserede Doppler effekter.

Laserkøling, der er baseret på den udveksling af impuls der sker når atomer absorberer og udsender fotoner, løste dette problem. Metoden blev først demonstreret med ioner, og i midten af 1980'erne viste teknikken sit store potentiale med laserkøling af neutrale atomer i en magneto-optisk fælde [1].

For neutrale atomer betyder laserkøling at man uden de store problemer kan fange en samling af mange millioner atomer ved temperaturer fra få millikelvin til under en mikrokkelvin, en milliontedel grad over det absolutte nulpunkt. Ved disse temperaturer har atomerne en middelhastighed på få centimeter i sekundet, så Dopplerskiftet bliver drastisk reduceret. Da laserkøling endvidere kan anvendes til at køle mange forskellige grundstoffer, både ioner og neutrale atomer, åbner teknikken mulighed for præcise studier af atomer med vidt forskellige egenskaber.

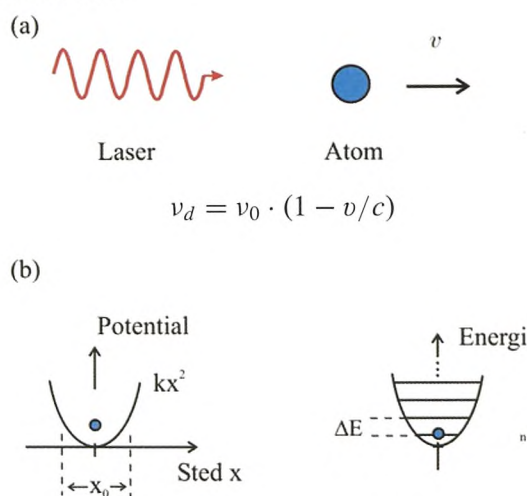
Den store forbedring af atomure, som laserkøling resulterer i, er tydelig når man ser på fontæneure baseret på cæsium (figur 2). I disse ure bliver en sky af 100 millioner atomer kølet ned til 1 mikrokkelvin. Herefter bliver de skudt en meter op igennem en mikrobølgekavitet, hvor de vekselvirker med et elektromagnetisk felt to gange, første gang på vej op, anden gang når de falder ned igen. Denne metode giver en markant forbedring af både præcisionen og stabiliteten, typisk mere end en størrelsesorden. De bedste af denne type ure har nu en relativ unøjagtighed omkring 10^{-16} og bruges blandt andet til præcis kalibrering af den internationale tidsskala og test af fundamental fysik.



Figur 2. Fontæneure baseret på cæsium. Atomerne køles til 1 mikrokkelvin og skydes ca. 1 meter op. På vej op og ned vekselvirker de to gange med et mikrobølgefelt i en kavitet.

2. Dopplereffekten og Lamb-Dicke området

Doppler effekten er navnet på den ændring i frekvens af f.eks. lyd og lys, der skyldes at observatøren bevæger sig relativt til kilden, f.eks. når en ambulance kommer kørende forbi og man hører sirenen ændre lyd. Denne effekt ændrer resonansbetingelsen angivet i boks 1 og kan udtvære urets resonansfrekvens betydeligt, selv ved meget lave hastigheder. For et atom med hastighed v er resonansbetingelsen ændret med $\nu_0 \cdot v/c$, hvor c er lysets hastighed. I mikrokelvinsområdet er atomernes hastigheder nogle cm/s og giver anledning til frekvensskift af optiske ure på kHz-niveau eller mere. Målet for disse ure er mHz forbredning og Doppler effekten må derfor elimineres.

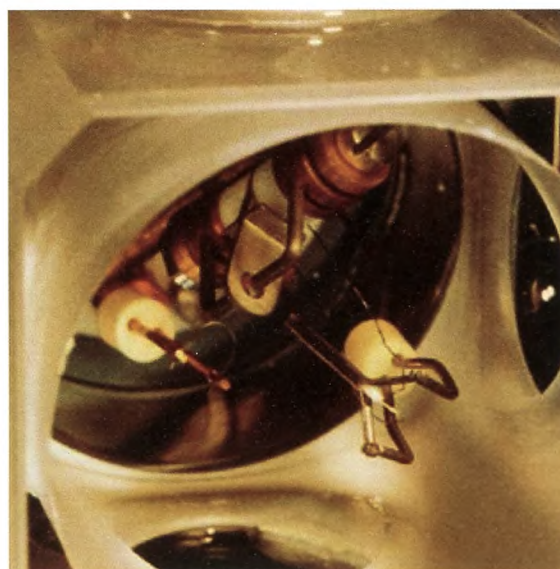


Kolde neutrale atomer eller ioner kan fanges og fastklemmes i dybe fælder ved brug af intense laserfelter eller elektriske felter. På den måde kvantiseres deres bevægelsesenergi så ikke alle hastigheder er tilladte, men kun bestemte værdier, se tilfældet (b) på figuren ovenfor. Er energigabet ΔE mellem to bevægelsesenergitilstande meget større end liniebredden $h \Delta \nu$ (boks 1) og forskydningen $h(\nu_d - \nu_0)$, elimineres Dopplereffekten fuldstændigt, idet der ikke er energi nok i lyset til at drive atomet til den næste bevægelsestilstand. Når dette er tilfældet siges atomet at befinde sig i Lamb-Dicke området. Generelt kan man vise at hvis det område x_0 man klemmer atomet eller ionen inde på er meget mindre end den bølgelængde λ , der benyttes for at drive uret så kan man se bort fra Dopplereffekten. I de potentialer der anvendes i atomure er x_0 typisk omkring 30-100 nm mens λ er ca. 600 nm.

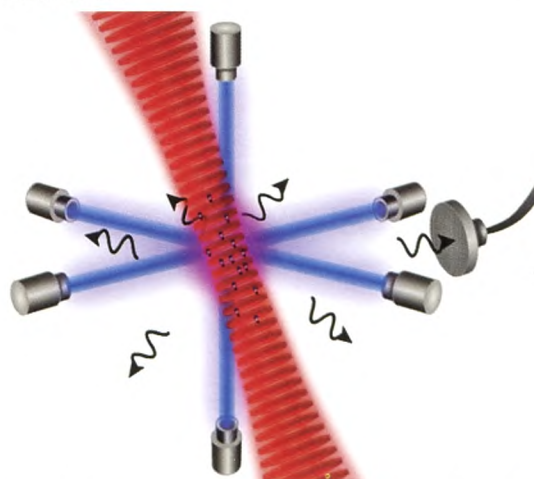
På dette niveau er der stadig bevægelseffekter der kan begrænse et atomurs præcision. Dette problem kan løses ved at fange atomerne i en fælde, der er så "snæver" at bevægelsesfrihedsgraden bliver kvantiseret. Dette såkaldte Lamb-Dicke område gør det muligt at undersøge atomer på en måde der sikrer at impulsen ikke ændres til første orden. Det betyder at

Doppler effekten og andre effekter relateret til atomernes bevægelse forsvinder (se boks 2).

Der findes to typer ure hvor man kan fange atomerne i Lamb-Dicke området. Den første er atomure baseret på enkelte ioner (figur 3). Ioner har, i kraft af deres ladning, en meget stærk kobling til elektriske felter og er nemme at fange i meget dybe fælder. Denne type ure kræver desuden ikke mere end 2-3 forskellige lasere, hvilket specielt havde stor betydning før udviklingen af kraftige diodelasere. Et godt eksempel på et sådant eksperiment er kviksølv-ion uret i Colorado, USA. Dette ur er i dag det mest præcise i verden med en relativ unøjagtighed på $2,4 \cdot 10^{-17}$, svarende til at måle afstanden til den nærmeste stjerne, Alpha Centauri, der ligger 4,4 lysår væk, med en usikkerhed på ± 1 meter. Grunden til at dette ur har så stor præcision er at hele ionfælden er kølet ned til 4 kelvin ved hjælp af flydende helium så sortlegeme strålingen er forsvindende lille.



Figur 3. Eksempel på en ionfælde. Det viste eksempel er en sfærisk Paul-fælde der er velegnet til indfangning af enkelte ioner. En sådan fælde kan fastholde den samme ion i op til flere måneder.



Figur 4. Ur baseret på strontiumatomer fanget i en optisk fælde. De blå lasere bruges til at køle atomerne til lave temperaturer så de kan fanges i den optiske fælde der er en stående laserbølge. Detektoren til højre anvendes til at måle sluttstanden af atomerne efter de har vekselvirket med laserlyset fra den lokale oscillator.

Den anden type ure er baseret på neutrale atomer fanget i en optisk fælde. I en optisk fælde fanges atomer i en laser med høj intensitet. Hvis man laver en stående bølge, f.eks. ved at reflektere laserens, varierer intensiteten med halvdelen af laserens bølgelængde hvor atomerne er fanget i "pandekager" med høj intensitet (figur 4).

Ure baseret på denne metode kan laves med grundstofferne i den anden hovedgruppe, alkali-jord metallerne, da man kan fange disse atomer på en måde der ikke påvirker den atomare resonans. Det bedste af denne type ure er baseret på grundstoffet strontium, hvor man i Colorado, USA har opnået en nøjagtighed på 16 betydende cifre. Begrænsningen for dette ur er sortlegeme stråling fra vakuumkammerets vægge, og en forbedring forudsætter en meget præcis opmåling af atomets energiniveauer og meget præcis kontrol med temperaturen af de forskellige dele af eksperimentet. En anden mulighed er at benytte et grundstof hvor den atomare resonans er mindre følsom overfor sortlegeme stråling, hvilket er tilfældet for magnesium og kviksølv.

Stabilitet

Stabiliteten af et atomur har stor betydning, da den afgør hvor lang tid man skal måle for at opnå en tilpas lille statistisk usikkerhed i bestemmelsen af en frekvens. Stabiliteten skalerer typisk med $t^{-1/2}$, hvor t er måletiden, så en forbedring af stabiliteten med en faktor 5 afgør om man skal måle i 2 timer eller to dage.

Stabiliteten afhænger i høj grad af kvalitets faktoren $Q = \nu/\Delta\nu$ af den atomare resonans man bruger. Da der er grænser for hvor lang tid det er praktisk muligt at vekselvirke med atomerne i et atomur, sætter Heisenbergs usikkerheds relationer en nedre grænse for hvor snæver en liniebredde man kan opnå. Den eneste mulighed for at forbedre Q er derfor at bruge en overgang med en højere frekvens ν , hvilket i praksis betyder at man skifter fra at bruge en atomar overgang i mikrobølgeområdet, som i cæsiumuret, til at bruge overgange i den synlige del af spektret.

Skiftet fra mikrobølger til synligt lys medfører en del tekniske udfordringer, hvoraf den største er måling af frekvenser i det synlige område.

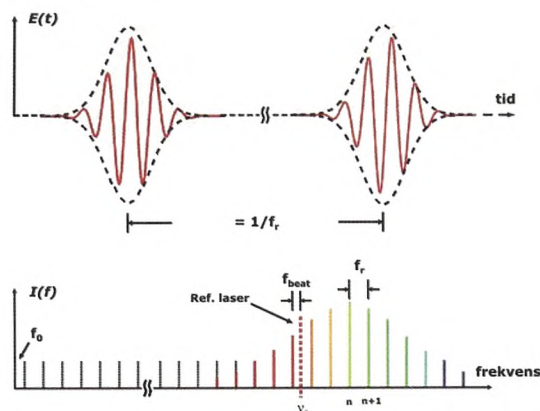
Frekvenskammen

En præcis måling af en lasers frekvens forudsætter en direkte sammenligning med en eksperimentel realisering af sekundet, der er defineret som 9.192.631.770 svingninger af strålingen fra mikrobølgeovergangen i grundtilstanden af cæsium. For at foretage en måling i det synlige område omkring 1000 THz er det nødvendigt at bygge bro over 5 størrelsesordener i frekvens fra atomure baseret på cæsium, som f.eks. et fontæneur. Indtil år 2000 blev dette gjort ved at faselåse en kaskade af mikrobølgeoscillatorer og lasere i det dybt infrarøde og infrarøde frekvensområde til hinanden ved hjælp af forskellige ikke-lineære processer. Disse systemer var ikke bare store og komplicerede, men var også kun designet til at måle en enkelt eller to frekvenser i det synlige område. Kun tre laboratorier i verden havde den kapacitet der krævedes for

at levere denne eksperimentelle kraftanstrengelse, og kun frekvensen af enkelte atomare og molekulære resonanser var derfor præcist kendt.

3. Femtosekundlaser og frekvenskam

Optiske ure er baseret på meget høje frekvenser af størrelsesorden 10^{14} Hz. Intet instrument kan imidlertid måle denne frekvens direkte. For at danne bro mellem frekvenser i mikrobølgeområdet, der let kan måles og tælles og høje optiske frekvenser blev der i 1995 udviklet en såkaldt frekvenskam. En frekvenskam er et optisk gearværk, der sammenkæder de meget hurtige svingninger omkring 10^{14} Hz med frekvenser i MHz-området som benyttes i bl.a. elektronik. Det optiske gearværk udgøres af en femtosekund laser der periodisk udsender laserpulser med en længde på ca. 100 femtosekunder ($100 \cdot 10^{-15}$ s) og med en repetitionsrate f_{rep} på typisk 100 MHz.



På figuren herover er vist de elektriske pulser samt det tilsvarende spektrum i frekvensområdet. I frekvensområdet udgør spektret en kam, en frekvenslineal med ækvidistante afmærkninger i det optiske område 500 - 1100 nm. Afstanden mellem to frekvensmarkører ved tallene n og $n+1$ er givet ved repetitionsraten f_{rep} . Tallet n har typisk en værdi i størrelsesordenen 60.000. En optisk frekvens med ν_0 (angivet ved den stiplede linje under f_{beat} på figuren ovenfor), kan udmåles mod 100 MHz kilden. Det gøres ved at overlape lys fra kammen og reference laserens ν_0 således at der opstår en beatfrekvens, f_{beat} , lig forskellen mellem de to optiske frekvenser, kammens ved markørtallet n , $\nu_n = n f_{\text{rep}}$ og referencen ν_0 . Beatfrekvensen er også i MHz-området og kan nemt måles. Således kan frekvensen af en laser i det optiske område måles med Hz nøjagtighed ved at referere f_{rep} til et cæsiumatomur eller ved at låse kammen til en anden kendt optisk standard. Tilsvarende kan kammen også låses til den optiske reference hvorved f_{rep} låses til det optiske ur. Dette giver kolossalt stor nøjagtighed i det optiske frekvensområde som også kan overføres til MHz-området hvor det kan anvendes til forskellige formål.

Alt dette ændrede sig drastisk med udviklingen af titan-safir baserede pulsede lasere med meget brede frekvensspektre for ca. 10 år siden. Disse lasere udsender meget korte pulser med en gentagelsesrate der kan styres meget præcist.

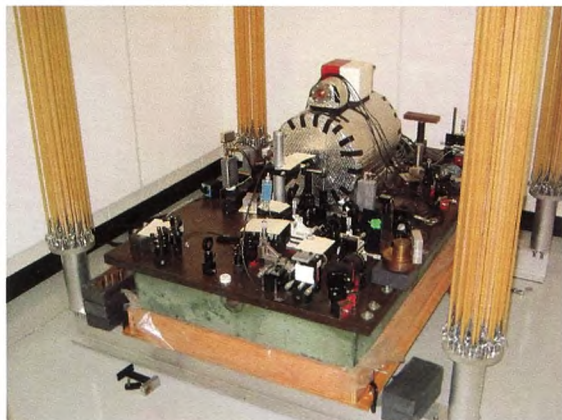
En laser der udsender præcist timede pulser vil have et spektrum bestående af diskrete linier med en indbyrdes afstand i frekvens givet ved gentagelsesraten f_{rep} . Dette spektrum, kaldet en frekvenskam, kan bruges som målebånd til at bestemme optiske frekvenser, da alle de parametre der bestemmer de enkelte liniers frekvens kan vælges i mikrobølge området og derfor refereres direkte til sekunddefinitionen.

Til denne type måling kræves at den pulsede laser har et meget bredere spektrum end de typiske 50 nm centreret omkring 800 nm. Dette kan skabes ved hjælp af en ikke-lineær blandingsproces i specielle fotoniske krystalfibre der blev udviklet i slutningen af 1990'erne. Disse gør det muligt at opnå spektre der spænder fra den grønne del af spektret ved 500 nm til omkring 1100 nm i den infrarøde del. Dette brede spektrum består af titusindvis af linier med en veldefineret frekvens. Ønsker man at måle frekvensen af en laser i dette område kræves blot at man sammenligner frekvensen af laseren og en af linierne i frekvenskammen.

Denne teknologi er hovedårsagen til at man i dag ser en eksplosion af forskellige laboratorier der arbejder med atomure. Betydningen af dette blev anerkendt med Nobelprisen i 2005 til John L. Hall og Theodor W. Hänsch.

Imod højere stabilitet

Med overgangen til synligt lys er det potentielt muligt at lave atomure med meget lille statistisk usikkerhed. For at opnå dette er det nødvendigt at bruge en meget stabil laser til at undersøge atomerne med. Denne laves ved at låse laseren til en resonans i en optisk kavitet bestående af to højrefleksive spejle.



Figur 5. Den ultrastabile laser fra kviksølvionuret i USA. Her er hele kaviteten samt det optiske bord den er monteret på, som har en masse på omkring 500 kg, ophængt fra loftet i 5 meter lange elastikker.

De krav der stilles til stabiliteten af denne laser svarer cirka til at afstanden imellem de to spejle ikke må variere med mere end en atomar diameter. På det

niveau er kaviteten utrolig følsom overfor vibrationer hvilket stiller store krav til den eksperimentelle opstilling. Et eksempel på hvordan kaviteten kan isoleres fra vibrationer er ved kviksølv ionuret i USA (figur 5).

Da der er en betydelig interesse i udvikling af meget kompakte atomure, er denne form for løsning ikke holdbar i længden. I stedet er det muligt at designe en kavitet med en geometri der gør den ufølsom overfor vibrationer til første orden. Teknologi til at lave denne type design er blevet udviklet i de seneste 5 år og mange forskellige geometrier er under test.

Kompakte atomure med en nøjagtighed på 16 betydende cifre vil i første omgang kunne bruges til sammenligninger imellem laboratoriestandarder rundt omkring i verden. På lidt længere sigt er det interessant at montere meget præcise atomure på satellitter, bl.a. for at teste Pioneer anomalien, der har navn efter rumsonderne Pioneer 10 og 11, der bremser mere op end forventet, eller for at lede efter gravitationsbølger.

Atomuret som sensor

Atomure er meget følsomme overfor ydre påvirkninger af forskellig slags. Det betyder på den ene side at man skal kontrollere omgivelserne meget præcist for at lave et godt atomur. På den anden side betyder det at et atomur kan betragtes som en utrolig følsom sensor overfor de selv samme påvirkninger. Denne sammenhæng bruges f.eks. i dag til udvikling af meget præcise og kompakte magnetometre, baseret på teknikker fra atomure, der er konkurrencedygtige med superledende sensorer (SQUIDS) samt ultrapræcise gravimetre baseret på atomer i frit fald ligesom i atomare fontæner.

Det er et af grundlagene indenfor fysik at naturlovene er de samme til alle tider og alle steder (ækvivalensprincippet). Dette princip er i overensstemmelse med Standardmodellen, som dog er under pres da der er mange fænomener den ikke kan forklare. Mange af de teorier der er foreslået som afløser enten til-lader eller direkte forudsiger en afvigelse fra Einsteins ækvivalensprincip. En sådan afvigelse vil manifestere sig ved at resultatet af et eksperiment afhænger af dets placering i universet eller tidspunktet for målingen og da atomure er de mest præcise måleinstrumenter i fysikken, er det oplagt at bruge dem til at lede efter sådanne afvigelser.

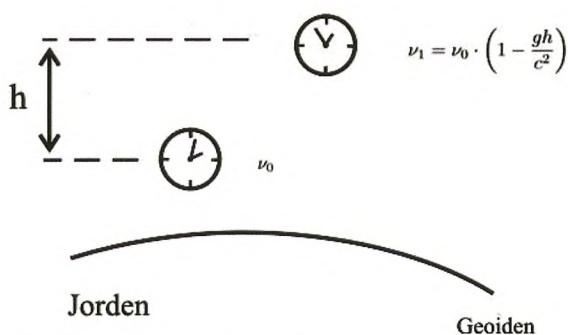
Et af de bedste eksempler på en sådan måling er sammenligningen imellem de to mest præcise atomure i verden med en relativ unøjagtighed på $5,2 \cdot 10^{-17}$ (omtalt i KVANT nr. 2, 2008 [1]). De atomare resonanser i disse ure har forskellig afhængighed af værdien af finstrukturkonstanten α (se boks 4) og en sammenligning imellem de to ure over tid gør det derfor muligt at lede efter en eventuel variation. Målingen viste ikke nogen signifikant variation, men vil naturligvis blive gentaget over flere år for at mindske usikkerheden. Specielt finstrukturkonstanten er interessant at undersøge, da astronomiske observationer af spektre fra fjerntliggende objekter antyder at α har ændret værdi i takt med udvidelsen af Universet.

4. Atomure i gravitationsfelter

Atomure har i kraft af deres nøjagtighed et stort potentiale som sensorer. Eksempelvis kan man direkte måle Einsteins forudsigelse at ure der befinder sig forskellige steder i tyngdefeltet går forskelligt, se figuren nedenfor.

Med de nøjagtigheder moderne atomure har, kan dette faktisk være en væsentlig effekt, specielt hvis man sammenligner ure der er langt fra hinanden. Et eksempel er de løbende sammenligninger imellem to cæsiumure, det ene i Colorado i USA, det andet i Tyskland, hvor højdeforskellen er omkring 1,6 km.

Einsteins almene relativitetsteori foreskriver, at ure der befinder sig højere i tyngdefeltet går langsommere, se figuren herunder.



Her er g tyngdeaccelerationen og h er højdeforskellen mellem to ure. Geoiden, er den lokale højdereference for tyngdefeltet.

Optiske atomure benyttes i dag til at undersøge om naturkonstanterne ændrer sig med tiden. Det drejer sig bla. om finstrukturkonstanten α og forholdet mellem protonens og elektronens masse. Finstrukturkonstanten spiller en meget vigtig rolle idet den karakteriserer den elektromagnetiske vekselvirkning. Finstrukturkonstanten er givet ved

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0\hbar c} \cong \frac{1}{137}$$

Atomers energiniveauer er bestemt af α , og generelt er frekvensen af optiske overgange en funktion af α og atomnummeret Z , $\nu_0 = f(\alpha, Z)$ for et givet atom. Denne funktion indeholder en korrektion der afhænger af hvilket grundstof og hvilken atomar resonans der benyttes. For at teste om α ændres i tid kan vi måle frekvensforholdet mellem to ure med forskellige følsomheder overfor en drift af α , og se om det ændrer sig med tiden.

Målinger foretaget i laboratorier på Jorden har endnu ikke kunnet se relative ændringer udover detektionsgrænsen på 10^{-17} per år. Astronomiske data tyder på små ændringer i løbet af Universets levetid. Denne type måling er langt fra så præcis som målinger med atomure, men ser til gengæld langt tilbage i tiden.

Ved at sammenligne atomure er det også muligt at søge efter variationer der enten afhænger af jordens position i solens gravitationsfelt eller retningen af kvantiseringsaksen i forhold til Universet. Denne type forsøg er i en fase hvor en mindre række eksperimenter er blevet lavet, men som atomurene bliver bedre vil denne type test af fundamentale fysiske love blive mere og mere præcis.

Konklusion

I denne artikel har vi forsøgt at give et overblik over hvordan atomure virker og hvordan de har ændret sig i de sidste 10 år. De atomure der bliver forsket i i dag er meget komplekse eksperimentelle systemer bestående af mange forskellige lasere til at manipulere atomerne med. Udviklingen af disse komplekse systemer har drevet en betydelig teknologisk innovation indenfor spektroskopiske metoder der i dag betyder at "værktøjskassen" til at undersøge atomer med er meget varieret. Dette er ikke bare til gavn for atomurene, men også indenfor andre felter af atomfysikken hvor præcision er af betydning.

Litteratur

- [1] Kasper T. Therkildsen og Jan W. Thomsen (2008), Bose Einstein Kondensation i atomare gasser – Når atomer bliver til kvantebølger, KVANT bind 19, nr. 2, s. 20-23 (2008).



Anders Brusch er ph.d. i atomfysik fra Paris VI, hvor han arbejdede med udvikling af et atomur baseret på strontium. Efter et ophold ved kviksølv-ion uret i Colorado, USA, er han i dag ansat som post doc. ved NBI hvor han arbejder på udvikling af et atomur baseret på magnesium.



Jan W. Thomsen, lektor ved Niels Bohr Institutet, forsker i kolde og ultrakolde atomer og deres anvendelser.

ET HISTORISK ASTRONOMITRÆF

Årets store astronomiske træf foregår på Hven, den smukke og astronomisk interessante ø hvorfra Tycho Brahe foretog sine banebrydende observationer i 1600-tallet, samtidig med astronomiårets hovedperson Galileo Galilei.

Programmet består af workshops, foredrag med både amatør- og fagastronomer, astronomisk marked, rundvisning på Tycho Brahe museet og ikke mindst observationer nat og dag fra Uranienborg.

TILMELDING

Du kan tilmelde dig ved at sende en e-mail til tilmelding@astronomihven.com. Angiv dit navn, adresse, e-mail adresse, telefonnummer og hvilken workshop du vil deltage i. Samtidig kan du indbetale tilmeldingsgebyret til Astronomisk Selskabs konto: Reg. 3287 konto 0008001081. Prisen er 75 danske kroner for en enkelt dag eller 150 danske kroner for alle tre dage.

OVERNATNING

Du skal selv arrangere overnatning – book derfor hurtigst muligt. Yderligere oplysninger kommer snart på www.astronomihven.com

ASTRONOMI DAGENE HVEN 2009

28-30
AUG



ARRANGØRER: Astronomiska Sällskapet Tycho Brahe. Svensk Amatörastronomisk Förening. Astronomisk Selskab. Københavns Astronomiske Forening. Astronomisk Forening for Køge Bugt. Amatörastronomiska Sällskapet Aquila i Kristianstad. Karlskrona Astronomiförening. Fritids- och kulturförvaltningen, Landskrona kommun. NOVA, Helsingør. Sponsras av Svenska Astronomiska Sällskapets Planetariefond.



Stjernehimlen

Ovenfor ses *Lagune-tågen*, eller M8, hvor der dannes stjerner som oplyser den omkringliggende gas. Tågen ligger i stjernebilledet Skytten og er observeret fra Australien af Mikael Svalgaard (www.leif.org/mikael).

Nedenfor og til højre ses Månen fotograferet den 12. december 2008, da den var tættest på Jorden. Det var samtidig det tætteste den kommer Jorden i årene 1993-2016. Det store billede er inverteret, så man bedre kan se de finere detaljer, f.eks. stråler der udgår fra nedslagskratere. Fotos: Anthony Ayiomamitis (www.perseus.gr).





Stjernehimlen den 15/4 kl. 22.00

Månens faser:



Astronomiske begivenheder:

Årstider, formørkelser og meteorstorme.

20/3 Forårsjævnøgn

22/4 Stjerneskedssværmen *Lyriderne* kulminerer

5/5 Lyse nætter begynder

6/5 Stjerneskedssværmen *Eta Akvariderne* kulminerer

Planeterne i april-maj:

De indre planeter Merkur og Venus ses bedst lige efter solnedgang omkring største østlige elongation eller lige før solopgang ved største vestlige elongation. Merkur kan være op til 28° og Venus op til 47° fra Solen.

De ydre planeter ses bedst omkring opposition (når planeten står modsat Solen) og dårligst omkring konjunktion (når planeten står bagved Solen).

Merkur: Vædderen-Tyren (aften); østl. elong. 26/4

Venus: Fiskene (morgen); konj. 27/3

Mars: Vandmanden-Fiskene (morgen).

Jupiter: Stenbukken (morgen); konj. 24/1.

Saturn: Løven, ses det meste af natten; opposition 8/3.

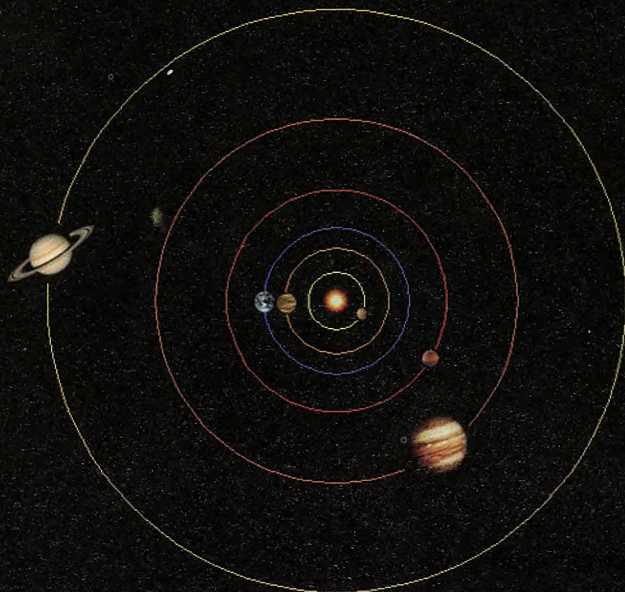
Uranus: Fiskene (morgen); konj. 13/3.

Neptun: Stenbukken (morgen); konj. 12/2.

Solsystemet ca. 1. april:

Bevægelse mod uret. Jorden er længst mod venstre ved forårsjævnøgn.

Kun planeter synlige med det blotte øje er vist.



Merkur tæt på nymånen og Plejaderne:

Dette syn kan man se den 26. april kl. 22 (sommertid)



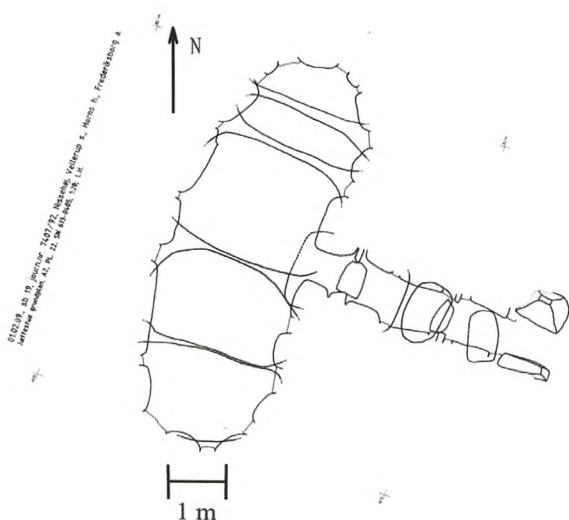
Jættestuer i en astronomisk kontekst

Af Claus Clausen

Fra 2002 og til 2006 blev der gennemført en række undersøgelser af gangretningen på 106 jættestuer. Og den afslørede, at der kan have været en sammenhæng mellem gangåbningens orientering ud mod horisonten og det punkt, hvor fuldmånen for omkring 5300 år siden stod op før en måneformørkelse. I Danmark har der ikke tidligere været tradition for denne type af undersøgelser.

Danske jættetuer

Karakteristisk for en jættestue er, at det er en megalitgrav (storstensgrav) hvorfra der udgår en gang, ofte vinkelret på selve gravkammeret. De findes i flere varianter med flere gange og kamre. Også de mere simple dysser kan have gange. Nogle af de største jættestuer kan have kamre op til 15 meter i længden og andre kan have gange der er mere end 10 meter lange.



Figur 1. Plantegning af jættestuen Nissehøj, med kammer og gang. Midterlinjen i gangen peger i en vinkel på 109° regnet fra geografisk nord.



Figur 2. Kortet viser hvor på Sjælland de fleste af de opmålte jættestuer findes. Pilene angiver retningen på gangen. Der ses to koncentrationer (klynger). En ved Kalundborg og en ved Ejby på Horns Herred.

Der findes ca. 700 registrerede jættestuer i Danmark. Så stort et antal betyder, at det er et godt statistisk materiale at gå ud fra. Jættestuer er desuden en type megalitgrave, der blev bygget indenfor en relativt kort periode på måske kun 100 år, for ca. 5300 år siden. Derfor kan der være grund til at tro, at der ligger de samme tanker bag konstruktionen af alle jættestuer i Danmark. Det oprindelige antal af jættestuer har været meget større, måske omkring 4000-5000.

Om funktionen af jættestuerne vides at der ved visse lejligheder er udført ritualer i kammeret, gangen og uden for gangens åbning. Der er bl.a. fundet rester af knust keramik. I øvrigt keramik af bedste kvalitet. I visse tilfælde er der fundet tusindvis af keramikskår. I nogle jættestuekamre er fundet dele af adskilte menneskeskeletter. Knogledelene er i nogle tilfælde sorteret efter type. Hele skeletter er også fundet. Der er eksempler på at skeletdele fra mere end hundred individer er blevet henlagt i en jættestue. En måneformørkelse kunne være den begivenhed der har udløst ritualerne i og omkring en jættestue.



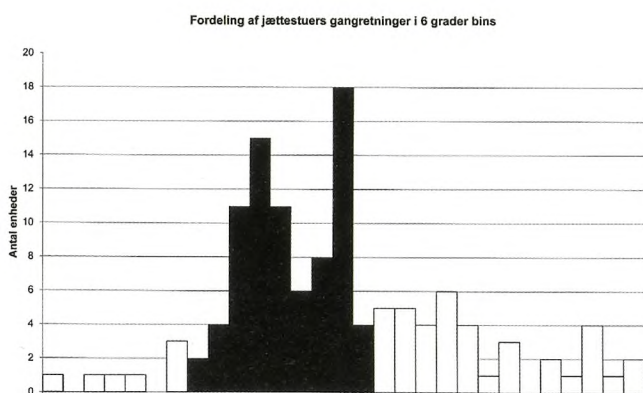
Figur 3. Dette foto viser jættestuen Nordenhøj med to gange. Den venstre gang (set forfra) har en azimut på omkring 160° og er muligvis retningen mod selve formørkelsen. Den højre gang har en azimut på omkring 138° og kan være retningen mod midsommerfuldmånens opgang for selve formørkelsen. Foto: Claus Clausen.

Undersøgelse af danske jættestuer

Til selve målingerne anvendtes en teodolit, et magnetkompas og en GPS til positions- og højdebestemmelse. Teodolitten er en slags kikkert, som kan bruges til retningsbestemmelse i horisonten og måling af horisontens højde i forhold til en defineret astronomisk horisont. Det sidste viste sig ikke at have nogen nævneværdig betydning da det sjællandske landskab er forholdsvis fladt. Magnetkompasset blev

benyttet som supplement, hvis teodolitten ikke kunne bruges. Orientering eller azimutvinkel måles altid i forhold til geografisk nord og med uret. Geografisk øst angives derfor som 90° , og 180° er stik syd. Retningen af gangen blev i alle tilfælde målt som den bedste rette linje gennem gangen. Hvilket blev antaget at være identisk med sigtelinjen eller sigteretningen om man vil.

De fleste af de undersøgte jættestuer er placeret højt i landskabet i forhold til det omgivende terræn, med god udsigt til horisonten hele vejen rundt. De fleste (sandsynligvis alle) ligger tæt på, hvor der er eller har været vand (åer, kyststrækninger mv.). Mange af jættestuerne ligger i klynger, hvor der ofte kun er få hundrede meter imellem de enkelte enheder, og ofte er der et stort antal af andre typer af megalitgrave og gravhøje i nærheden.



Figur 4. Den samlede observerede fordeling vist som histogram. Figuren viser en stærk koncentration af retninger mod sydøst med toppe omkring retningerne 99° og 122° . Det med sort markerede interval er fra $78,5^\circ$ til $132,5^\circ$. Det "dyk" der forekommer i histogrammet, mellem de to toppe, forekommer også i beregningerne. De sydlige retninger (til højre i histogrammet) kan være retninger mod selve formørkelsen.

Formørkelseshypotesen

Hypotesen om måneformørkelser blev første gang beskrevet i forfatterens speciale i 2003. Specialet omhandlede en undersøgelse af jættestuer i Skåne og på Sjælland. Vejleder fra specialestudiet, astronom og lektor Per Kjærgaard Rasmussen fra Niels Bohr Institutet, fandt resultatet fra specialet så spændende at han foreslog en videnskabelig artikel om emnet. Dette førte til et omfattende arbejde med at undersøge Månens opførsel tilbage i tiden, samt at udføre et antal supplerende målinger for at øge antallet af observationer. Det var dette arbejde der førte til forskellige opdagelser både vedrørende Månen og jættestuerne.

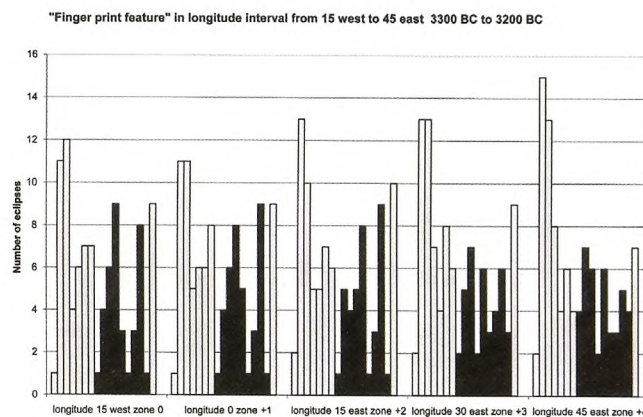
Den største udfordring var i første omgang at beregne fordelingen af retninger mod fuldmånens opgang før en formørkelse, tilbage i tiden. Dette krævede en del modifikationer af eksisterende almanak-programmer. Til dette blev ydet væsentlig støtte af astronom Ole Einicke, der tidligere stod for beregninger af data til Københavns Universitets Almanak.

Delta t

En særlig problemstilling er Delta t problemet. Tilbage i tiden var jordens rotation hurtigere end i dag. Det betyder at hvis vi beregner tidspunktet for en bestemt astronomisk begivenhed en gang i fortiden, så ville Jorden være længere fremme i sin daglige rotation end svarende til det pågældende klokkeslæt. Man skulle med andre ord bevæge sig mod øst for at finde den position, hvor begivenheden kunne iagttages. Delta t er den vinkel (regnet i rotationstimer), som Jorden er drejet "for langt".

Et eksempel er en solformørkelse som fandt sted den 15. april 136 BC. Den finder vi at man ville kunne observere fra Marokko, tidszone 0, hvis Delta $t = 0$. Denne solformørkelse er blevet beskrevet af Babylonierne fra en position der ligger ca. 3,3 rotationstimer længere mod øst. Delta t er så ca. 3,3 timer, svarende til at vi nu befinder os i tidszone +3 (en tidszone betyder her et interval på 15° længde, svarende til 1 rotationstime. Tidszone 0 er centreret omkring Greenwich meridianen).

Jættestuerne markerer en række iagttagelser, der måske er gjort gennem 50-150 år. Bevæger vi os Delta t østover finder vi den længdegrad hvor de formørkelser, der med Delta $t = 0$ er beregnet for Danmark, ville kunne være iagttaget. Hvis man derimod bevæger sig Delta t vestover og beregner de formørkelser der kan ses fra denne position får man netop de formørkelser, der er synlige fra Danmark.



Figur 5. Denne serie af histogrammer viser beregnede fordelinger af fuldmåneopgange (3300BC til 3200BC) før en formørkelse ± 30 grader (eller ± 2 timer) omkring den længdegrad der svarer til en Delta t på 23 timer (længdegrad 15° øst). Histogrammerne viser alle de mulige synlige formørkelser. Vinterformørkelser ses i den venstre del af histogrammerne som svarer til fuldmåneopgange mellem oktober og marts måned.

Til bestemmelse af Delta t tilbage i tiden er anvendt en række historisk beskrevne solformørkelser, men det kan kun lade sig gøre ca. 2700 år tilbage i tiden. Så hvis man skal længere tilbage i tiden må man finde en formel for delta t . Ved at ekstrapolere den bedst egnede approksimation for delta t findes en værdi på ca. 23 timer for 3300 BC. Vi havner så i det der svare til tidszone +2. Der er imidlertid de ukendte faktorer som

bl.a. samspillet mellem Månens opbremsende effekt og processer i selve jorden som modererer denne. Så værdier på Delta t mange tusinde år tilbage kan kun angives med flere timers usikkerhed.

De fordelinger (regnet i perioder af 100 år) af fuldmåneopgange, der blev beregnet, viste at det specielle “dyk” der optræder i histogramserien (figur 5) optræder i perioder på mellem 100 og 400 år med pauser på 100 til 150 år for alle de længde og breddegrader der blev undersøgt. Pga. en usikkerhed på omkring 5 timer for delta t , når man er mellem 5000 og 6000 år tilbage i tiden, kan vi ikke sige præcis hvor Danmark befandt sig, da de relevante formørkelser fandt sted. Men i det længdegradinterval som kan angives for begyndelsen af jættestuetiden (ca. 3300 BC - 3200 BC) findes det “dyk” i de beregnede histogrammer som også findes i observationerne (figur 5).

Jættestuerne kunne “pinpointe” formørkelser

Mange måneformørkelser kan forudsiges ud fra nogle simple observationer. Står fuldmånen op samtidig med at solen går ned diametralt modsat (180°), kan der indtræffe en måneformørkelse om natten. Sandsynligheden for at der indtræffer en synlig formørkelse er knap 60 %, dvs. 3 ud af 5 fuldmåneopgange tæt på solnedgang udløser en formørkelse. Denne statistik er baseret på synlige formørkelser set fra Sjælland gennem de sidste 100 år. For jættestuefolkene har der derfor ikke været tale om avanceret astronomi, men om en god iagttagelsesevne. Det var heller ikke så vigtigt at gangen i jættestuen var præcist anlagt, man skulle blot tage bestik af retningen. Desuden kunne de fleste formørkelser om sommeren forudsiges på den ovennævnte måde, hvorimod det kun gælder for ca. halvdelen af vinterformørkelserne.

“Jættestuefolket” kunne sandsynligvis ikke forudsige måneformørkelser flere år før de fandt sted, men altså kun få timer før. Derfor er jættestuerne bygget efter at formørkelsen fandt sted. Hvad vores forfædre i første omgang ikke vidste, fandt de måske efterhånden ud af (eller måske vidste de det allerede)? Formørkelserne gentager sig med års mellemrum, for fuldmåneopgange i bestemte retninger. Så da jættestuerne først var bygget kunne de “pinpointe” kommende formørkelser. I gennemsnit har de kunnet se en måneformørkelse hvert fjerde eller femte år. Derfor har jættestuerne kunnet anvendes rituelt flere gange. Måske har de kunnet anvendes i en periode på 300 til 400 år. Hvilket betyder at der sandsynligvis også har været bygget en del jættestuer efter den første relativt korte intensive byggeperiode.

Vejrforhold

En statistik fra DMI (Danmarks Meteorologiske Institut) der giver fordelingen af solskinstimer gennem de sidste 134 år, viser at det generelt er mere overskyet om vinteren end om sommeren. Der er faktisk dobbelt så mange dage hvor det er overskyet i vinterhalvåret som i sommerhalvåret. Skæringstidspunkterne er omkring

Marts og Oktober måned. Man kunne derfor antage at dette ikke var anderledes for 5300 år siden, men det får vi måske aldrig at vide.

Sammenholdes dette resultat med at det kun er ca. halvdelen af vinterformørkelserne der kunne forudsiges, ud fra den simple metode der tidligere er beskrevet, så er det generelt kun ca. 1/4 af vinterformørkelserne der blev observeret. Dette kan sandsynligvis forklare de manglende vinterformørkelser i observationerne.

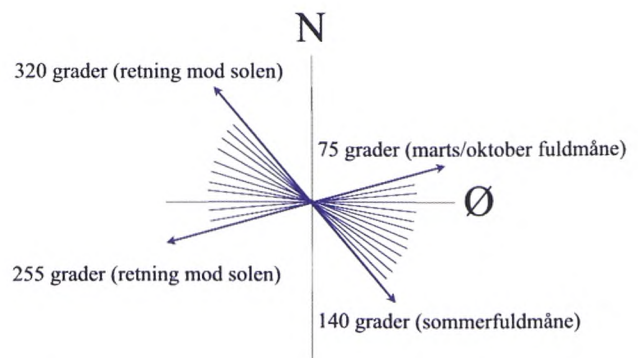
Jættestuer på linje

Under feltarbejdet med at tilføre datamaterialet flere retninger var en anden opgave at forsøge at finde egentlige astronomiske sigtelinjer, hvis de overhovedet fandtes. Den store overraskelse var, at det er jættestuerne i sig selv der er pejlemærker, idet de ligger på linjer, hvor jættestuerne peger på hinanden. Nogle af linjerne mellem de enkelte jættestuer kan være op til 5 kilometer lange. Så lange linjer er måske anlagt ved, at man har tændt bål mens det var mørkt eller tusmørke, da pejlepunkterne blev markeret. Det kan naturligvis kun afgøres ved undersøgelser.

Der blev også fundet linjer på 8 til 9 kilometers længde med op til 4 jættestuer på samme linje. Sådanne linjer er muligvis opstået da synlige formørkelser kan gentages for næsten samme retning med 1, 9, 10, 19, 27 og 38 års mellemrum. Under den nye undersøgelse kom det også frem, at jættestuerne lokalt var anbragt på høje punkter i landskabet. Derfor må jættestuefolket have haft et godt kendskab til landskabets topografi.

Det fremtidige arbejde (hypotesens forudsigelser)

Arbejdet med formørkelseshypotesen er nu så langt fremme at det er muligt at forudsige hvordan den oprindelige struktur af jættestueklynger kunne have set ud. Jættestuefolkets adfærd med at markere linjer der viser retningen til Solen ved nedgang og retningen til fuldmånen ved opgang, vil danne en bestemt struktur. Strukturen form har jættestuefolket naturligvis intet vist om. Bliver man ved med at “trække” linjer gennem adskillige år dannes efterhånden en sommerfugleliggende figur.



Figur 6. “Sommerfuglen” som den teoretisk ville se ud ovenfra. Dannet som et resultat af mange års observationer af måneformørkelser i sommerhalvåret. Alle retninger er angivet ud fra samme centrale position.

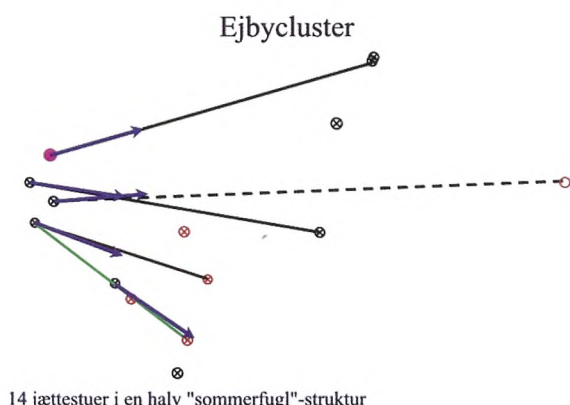
Figur 6 viser naturligvis et idealiseret billede af "sommerfuglen" og dannelsen af en "sommerfugl" vil sikkert ske tilfældigt. Det var vigtigt for jættestuefolket at kunne markere linjer, der viser retningen mod den nedgående sol og den opgående måne, når de står diametralt modsat. De må derfor have haft en teknik til at kunne gennemføre denne markering. Markering af en linje kræver at man har to pejlepunkter.

Hvordan de har gjort i praksis kan vi kun gætte på. Man kunne f.eks. først vilkårligt vælge et højt punkt (position 1) i landskabet. På punktet rejses en stolpe. Når Månen og Solen står på linje bestemmes retningen af den skygge som stolpen kaster. Retningen af skyggen bliver gangens retning. Efterfølgende bygges en jættestue, med den rigtige gangretning på position 1. Måske flere dage eller uger efter, bevæger man sig i den retning som skal være gangens retning. Når man kommer til det næste høje punkt (position 2) markeres dette. Dette punkt vil så være der hvor den næste jættestue skal bygges. Linjens længde afgøres af afstanden mellem de egnede punkter. Altså er landskabets topografi afgørende for linjens længde. Den her beskrevne metode kræver ikke nødvendigvis at man har anvendt bål.

Fortsætter man med at danne linjer ud fra vilkårlige punkter vil de på et tidspunkt krydse hinanden, specielt da nogle af formørkelserne gentager sig for fuldmåneopgange i samme retning. Måske har et godt udgangspunkt været et lille område med mange naturlige høje punkter tæt på hinanden. Hvis det er tilfældet bliver kun den højre "sommerfugl-vinge" dannet.

Spor af "sommerfuglen"

Der er i de undersøgte klynger fundet tegn på at "sommerfuglen" faktisk har eksisteret. Jættestueklyngen ved Ejby (Horns Herred, Sjælland) viser den højre "vinge". Hvor den venstre "vinge" skulle have været er der i dag vand. Desværre er det kun brudstykker af den oprindelige struktur vi i dag kan se.



Figur 7. Ejbyklyngen udviser træk der peger på at "sommerfuglen" er en reel struktur. Pilene viser målte retninger. De sorte markeringer viser positionen på eksisterende jættestuer. De røde er sløjfede. Den lille prik øverst til venstre angiver en dobbeltjættestue. Den røde cirkel er en uklassificeret megalit. De blå pile angiver de målte gangretninger på henholdsvis 74°, 85°, 98°, 110° og 123°.

Ejbyklyngen er langt fra færdigundersøgt så derfor vides det ikke med sikkerhed om "vingen" er reel. En ny undersøgelse af flere jættestueklynger vil afdække om "sommerfuglen" er en reel struktur i klyngerne. Det skal der en række GPS målinger til.

Der ligger også et stort arbejde forude med at finde ud hvorledes langhøje, dysser og stordysser passer ind i billedet. I heldigste tilfælde vil det måske være muligt at identificere de formørkelser som jættestuerne (og måske dysserne) er anlagt efter. Det betyder at det meget præcist kan fastslås efter hvilken dato og årstal byggeriet af disse størstensgrave er påbegyndt. Som "sidegevinst" kan en reel værdi på Delta t muligvis blive bestemt.

Hovedparten af de resultater, der omtales i denne artikel, er fremsat i en mere videnskabelig form i artiklen: "The orientation of Danish passage graves" (ACTA Archaeological). Jeg skylder Ole Einicke og Per Kjærgaard Rasmussen fra Niels Bohr Institutet en tak for deres bidrag til undersøgelsen af jættestuernes gangretninger. Uden deres hjælp og gode råd ville arbejdet ikke være kommet så langt.

Litteratur

- [1] Claus Clausen (2003), En undersøgelse af danske jættestuers orientering på Sjælland mellem 55,5° og 56° nordlig bredde, speciale i arkæoastronomi, Københavns Universitet, Astronomisk Observatorium.
- [2] Torben Dehn, Svend Hansen og Flemming Kaul (1995), Kong Svends Høj (restaurering og undersøgelser på Lolland 1991), Stenaldergrave i Danmark bind 1, Nationalmuseet, Skov- og Naturstyrelsen, ISBN 87-601-4846-2.
- [3] Svend Hansen (1993), Jættestuer i Danmark (konstruktion og restaurering), Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen, ISBN 87-601-3386-4.
- [4] Curt Roslund og Birgitta Hårdh (1991), Passage Graves and the Passage of the Moon, Acta Archaeologica Lundensia, series in 8° N 20, Lund.
- [5] Clausen, Kjærgaard, Einicke (2008), The Orientation of Danish Passage Graves, ACTA Archaeological bind 79, November 2008.
- [6] F. Richard Stephenson (2003), "Historical eclipses and the Earth's rotation", *Astronomy & Geophysics*, bind 44, 2.22.



Claus Clausen er uddannet astronom fra 2003 og har til daglig en stilling som pædagogisk konsulent. Han har desuden været tilknyttet Tycho Brahe Planetarium og undervist i astronomi ved Folkeuniversitetet gennem 20 år.

Multiverset – videnskab eller metafysik?

Af Helge Kragh, Institut for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet

Diskussioner af grundlagsproblemer af virkelig fundamental karakter er sjældne i de fysiske videnskaber, der hviler på alment accepterede idéer om, hvornår teorier og påstande har videnskabelig karakter. En grundlæggende fysisk teori kan kritiseres for at være dårlig eller utilstrækkelig, men kun i sjældne tilfælde vil der rejses tvivl om dens videnskabelige legitimitet, dvs. hvorvidt den overhovedet er videnskabelig. Et sådant tilfælde diskuteres for tiden af fysikere og astronomer i forbindelse med en populær kosmologisk teori om “mange universer”. Er der tale om et paradigmeskift i fysikken, eller blot om metafysik forklædt som videnskab?

Idéen om mange verdener

Begrebet om universet omfatter alt fysisk eksisterende, hvilket af sproglige og logiske grunde kan synes at umuliggøre enhver idé om “mange universer”. Ikke desto mindre går sådanne idéer langt tilbage i tiden, og i de sidste 5-10 år er de blevet genstand for en hæftig diskussion blandt fysikere og astronomer. Spørgsmålet er ikke så meget, om disse nye teorier er rigtige eller forkerte, men om de overhovedet er videnskabelige, dvs. om de lever op til de standarder, der normalt kvalificerer en teori til at høre til naturvidenskabens domæne.

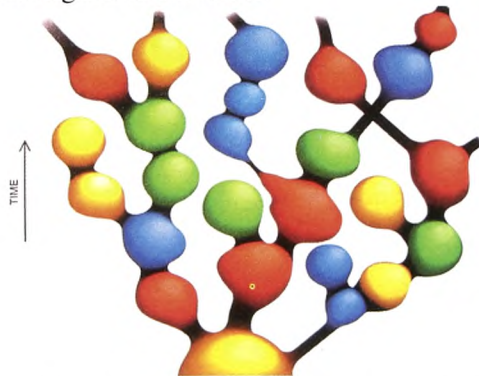
Samlingen af alle universer benævnes ofte et “multivers” eller nogle gange et “megavers”, mens nogle fysikere foretrækker at tale om “parallelle universer”. Det er unægtelig en sær idé, men selv inden for rammerne af de klassiske kosmologiske modeller baseret på Einsteins ligninger fra 1917 optræder en version af multiverset. Den tidligste ekspanderende model, kendt som *Lemaître-Eddington*-modellen, har en positiv kosmologisk konstant og udvider sig derfor med stadig større hast (den af Einstein indførte kosmologiske konstant virker som en frastødende, antigravitationel kraft). Som Eddington gjorde opmærksom på i 1931, fører dette til, at universet vil blive opdelt i adskilte regioner uden nogen kausal forbindelse. Sådanne regioner er ganske vist dele af det samme univers, men de kan ikke observeres og vil aldrig komme til det.

Mens *Lemaître-Eddington*-universet var lukket (positivt krummet rum), opererede steady-state-modellen fra 1950'erne med et uendeligt (fladt) univers hvor udvidelsen voksede eksponentielt i tiden. Denne teori, der blev forladt omkring 1965, var derfor også en slags multiversteori og endda med uendelig mange universer. Der var i samme periode flere andre teorier om mange universer, men de vakte kun meget lidt opmærksomhed.

Teorier om mange verdener optræder også i fortolkningen af kvantemekanikken, hvor en sådan teori blev foreslået i 1967 af Bryce DeWitt på grundlag af tidligere arbejder af Hugh Everett og John Wheeler. Ifølge denne opfattelse vil universet “spaltes” ved den kvantefysiske måleproces; ved målingen skabes nye verdener svarende til ethvert af de mulige udfald af målingen. Der kan argumenteres for en forbindelse

mellem kvantemekanikkens mange verdener og dem, der optræder i kosmologiske teorier, men forbindelsen er ikke nødvendig og jeg skal her se bort fra den.

Den nuværende stærke interesse for multiverset står i gæld til inflationsteorien, ifølge hvilken der kort efter big bang blev skabt et “falsk vakuum” med et negativt tryk og derfor en spontan, meget voldsom udvidelse svarende til en stor kosmologisk konstant; efter den korte, men hidsige inflationsfase vil det falske vakuum “henfalde” til et normalt vakuum og universet overgå til den langt mere rolige udvidelse, der kendes fra den traditionelle kosmologi. I starten af 1980'erne blev den oprindelige inflationsteori udviklet til modeller for “kaotisk inflation” og “evig inflation” af Andrei Linde, Alexander Vilenkin og andre. Disse modeller gav fysiske mekanismer for, hvordan universet efter inflationsfasen kunne udvikle sig til en uendelighed af “bobleuniverser” og hvordan disse ville vedblive med at danne nye universer. Inflationsteorien stemmer særdeles godt med målinger af anisotropien i den kosmiske baggrundsstråling, hvorfor den tillægges betydelig autoritet. Der er næppe tvivl om, at tiltroen til inflationsteorien eller rettere klassen af inflationsteorier har været en væsentlig årsag til multiversets voksende popularitet. Ifølge Alan Guth, der i 1981 foreslog den oprindelige teori for inflation, vil inflationsprocessen altid resultere i en uendelighed af universer.



Figur 1. Et selvreproducerende kosmos fremkommer ved forgrening af bobler der vokser via inflation. De forskellige farver symboliserer “mutationer” i naturlovene i forhold til moderuniverset. Egenskaberne af rummet i hver boble afhænger ikke af det tidspunkt hvor boblen blev dannet. Universet i sin helhed – “Multiverset” – godt derfor godt være statisk, selvom boblernes indre er beskrevet ved Big Bang-teorien.

Multivers og strengteori

En anden vigtig årsag er af nyere dato og knyttet til udviklinger inden for strengteorien eller hvad der i dag kendes som M-teorien. I starten af det nye årtusinde viste det sig, at der ikke er nogen entydig måde, hvorpå en 4-dimensional verden kan skabes ud fra 11-dimensionale strenge. Der er et umådelig stort antal måder at sammenkrølle eller "kompaktificere" de andre dimensioner på, og hver af disse måder kan fortolkes som en mulig verden med egne naturlove og konstanter. Leonard Susskind, en af strengteoriens fædre, taler om et kosmisk "landskab" af strenge, svarende til et landskab af mulige universer "befolket" med hver deres fysik. I litteraturen angives antallet af sådanne streng-baserede universer ofte som 10^{500} eller mere.

Hovedsagen er, at den fundamentale og matematisk stærke strengteori har givet en slags fysisk begrundelse for et enormt antal adskilte universer og at inflationsmodeller leverer en mekanisme, hvorved disse kan skabes. Tilhængere af den moderne teori for multiverset understreger, at disse mange universer skal opfattes som lige så virkelige som vores eget, ikke blot som mulige universer i en abstrakt forstand.

Der er endnu et vigtigt element i denne teori, nemlig forholdet til det antropiske princip, dvs. idéen om at universet er bemærkelsesværdigt finjusteret eller "designet" til at kunne rumme mennesker eller andet avanceret liv. Dette princip har været og er stadig kontroversielt, både af videnskabelige og filosofiske grunde. Blandt indvendingerne er, at det kan minde om den kvasireligiøse idé om intelligent design (ID), men i forbindelse med multiverset optræder det i en ny og ID-renset version: Når de fysiske love og parametre passer så godt til livets fremkomst, er det ikke fordi vores univers er specielt og konstrueret til at indeholde liv. Nej, naturlovene findes i alle mulige varianter i de utallige andre universer, blot er de i vores verden konsistente med den form for liv, vi kender til. Den øgede tilslutning til multiverset har ført til en øget accept af antropisk argumentation, men af en ikke-teleologisk art. Det er ikke noget tilfælde, at undertitlen i Susskinds bog om det kosmiske landskab er "strengteori og illusionen om intelligent design" [5].

Faktisk findes der ingen entydig teori for eller konsensus om multiverset, lige så lidt som dette begreb er entydigt defineret. Der findes forskellige forslag til typologier, hvori den mindst kontroversielle form henviser til de regioner af universet, der ligger uden for vores horisont og derfor er kausalt adskilte fra os. I denne form for multivers er der kun et big bang, hvorfra alt stammer, og den grundlæggende fysik formodes at være den samme overalt. En mere radikal form udgøres af de modeller, der er baseret på inflationsteorier (med eller uden strenglandskab) og hvori der er mange big bangs og resulterende universer med hver deres fysik. Der findes endnu mere radikale forslag, som Max Tegmarks idé om et kosmisk "matematisk demokrati", ifølge hvilken enhver matematisk struktur er fysisk realiseret i et eller andet univers [6]. Uanset hvilken slags

multivers, der tales om, så er det afgørende påstanden om virkelige universer, som vi ikke engang i princippet kan observere eller have nogen empirisk viden om.

Debatten om multiverset

Den moderne idé om multiverset tages seriøst blandt mange fremtrædende fysikere og astronomer, der opfatter den som en videnskabelig teori og undersøger den i artikler i anerkendte fagtidsskrifter eller elektroniske arkiver som arXiv (<http://arxiv.org/>). Andre forskere tager afstand fra idéen og mener grundlæggende set, at den slet ikke hører hjemme i den videnskabelige verden. Siden 2000 er der skrevet omkring 150 videnskabelige bidrag om multiverset, der har etableret sig som et eget forskningsfelt og naturligvis også har resulteret i bøger af en mere populær art [4, 5, 6]. Diskussionen om multiverset og det antropiske princip har desuden fundet sted ved møder mellem prominente fysikere og har resulteret i flere bøger. I bogen *Multiverse or Universe?* kan man således finde en række vigtige bidrag for og imod teorien. Blandt de forskere, der mere eller mindre helhjertet tilslutter sig idéen om multiverset, kan nævnes A. Vilenkin, A. Guth, L. Susskind, M. Tegmark, M. Rees og S. Weinberg. Modstanderne af teorien omfatter bl.a. G. Ellis, P. Woit, L. Smolin og P. Steinhardt.

Der kan blandt nogle af fortalernes for multiverset spores en næsten messiansk holdning, en forventning om at fysikken står på tærsklen til et helt nyt paradigmebrud, hvor reglerne for videnskabelighed vil være anderledes end i den traditionelle fysik. Ifølge den franske fysiker Aurélien Barrau "står vi over for et grundlæggende paradigmebrud, som vil revolutionere vores forståelse af naturen og åbne op for nye muligheder af videnskabelig tænkning" [8]. Steven Weinberg mener tilsvarende, at multiversteorien og dens baggrund i antropisk tænkning er "et nyt vendepunkt, en radikal ændring i vor opfattelse af, hvad der er et legitimt grundlag for en fysisk teori" [1, s. 29].

Idéen om et multivers er af flere grunde radikal, og det ikke blot fordi den hævder eksistensen af en mængde ikke-observerbare verdener. Den fører også til en drastisk ændring i synet på så fundamentale begreber som naturlove og deres tilhørende naturkonstanter. Disse størrelser anses normalt som irreducibile og absolutte, men ifølge hypotesen om multiverset er de blot kontingente og således i en vis forstand tilfældige. Når Plancks konstant er ca. $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ J·s, er der ikke noget helligt ved netop denne talværdi. Det er blot virkningskvantets størrelse i vores univers, mens kvantefænomener i andre verdener styres af en anden værdi af konstanten.

Et af de problemer, der optræder i forbindelse med multiverset, knytter sig til det *uendelige* antal af universer. Man kan synes, at 10^{500} universer er rigeligt, men ifølge anerkendte fysikere som Vilenkin og Guth resulterer inflationsmodeller i et uendeligt antal af universer. Såkaldt aktuelle eller realiserede uendeligheder fører med usvigelig sikkerhed til begrebsmæssige og logiske problemer, hvilket af og til bliver benyttet som

et argument imod visse scenarier for multiverset. Disse problemer er dog ikke specielle for teorier om multiverset, for de eksisterer i enhver kosmologisk model for et uendeligt og ensartet univers.

En hovedindvending imod multiverset er rimeligt nok, at andre universer ikke kan observeres – så hvorfor skulle vi tro på, at de findes? Et almindeligt svar på denne indvending er, at multiverset er begrundet i fundamentale fysiske teorier som vi har tillid til og som (for inflationsteoriens vedkommende) resulterer i verificerede forudsigelser; vi har derfor også grund til at tro på de forudsigelser, der ikke kan observeres. Vi har aldrig påvist en (isoleret) kvark, men alligevel tror vi jo på eksistensen af kvarker, lige som vi tror på forudsigelser om det indre af sorte huller. Så hvad skulle der være i vejen med troværdigheden af multiverset? Hvorvidt dette argument er godt, skal være usagt, men i det mindste har det ikke overbevist kritikerne.

Men er det videnskab?

Diskussionen om multiverset har fremprovokeret en debat i dele af fysikersamfundet om, hvad der egentlig karakteriserer en videnskabelig teori. Omvendt, hvad skal der til, for at en teori anses for uvidenskabelig? Alle fysikere er (vist nok?) enige om, at en acceptabel teori til syvende og sidst må kunne testes, altså føre til forudsigelser eller konsekvenser af en sådan art, at de kan sammenlignes med erfaringen. Men behøver teorien være *direkte* testbar? Og hvor liberalt kan man tillade sig at forstå frasen “til syvende og sidst”?

Det er ganske klart, at tilhængere og modstandere af multiverset har noget forskellige opfattelser af de grundlæggende standarder for videnskab. Førstnævnte mener således, at forudsigelser om sandsynligheder skal tillægges større vægt end normalt i fysikken, samt at forklaringer skal opprioriteres i forhold til forudsigelser. I almindelighed har de et mere afslappet syn på kriterier for videnskabelighed. Disse kriterier er jo ikke faldet ned fra himlen, de er produkter af den historiske udvikling og har ændret sig gennem videnskabens lange historie. Måske dyder som falsificerbarhed og eksakte forudsigelser var egnede for den traditionelle fysik, men de behøver ikke være det for kosmologien i det 21. århundrede.

En god fysisk teori fører ikke blot til testbare forudsigelser, den er også i stand til at forklare fænomener enten i naturen eller i laboratoriet. Nogle teorier kan have stor forklaringskraft, men alligevel være ude af stand til at levere entydige forudsigelser, og i så fald optræder der problemer med testbarheden. Teorier om multiverset er i denne henseende ekstreme. En teori, der postulerer 10^{500} forskellige universer med en tilsvarende variation i love og parametre, kan “forklare” enhver observation; og skulle observationen blive revideret, kan den også forklare det. Som George Ellis udtrykker det: “Mange teorier om multiverset forudsiger ganske vist eksistensen af universer med giraffer, men de forudsiger også universer, hvor der ikke er nogen giraffer” [2, 2.35].

Ellis har stærkt fremhævet de principielle aspekter

i debatten, der omfatter såvel etiske som forskningspolitiske problemer. Kort sagt, hvis vi accepterer multiverset som gyldig videnskab, hvordan kan vi da hævde, at pseudovidenskaber som krystalhealing og astrologi ikke er videnskab? Han udtrykker sine betænkeligheder således:

I debatten om multiverset er det selve naturvidenskabens væsen, der står på spil. Tilhængerne foreslår at udvande indholdet af det videnskabelige bevis for derved at kunne hævde, at multivershypotesen leverer en videnskabelig forklaring. Dette er en farlig taktik. ... Kan man virkelig hævde, at man har en ægte videnskabelig teori, når det er umuligt at teste teorien direkte og endog indirekte? Hvis man påstår dette, så ændrer man meningen med begrebet om videnskab. Der er mange andre teorier som venter i korridorerne og ser frem til en udvanding af, hvad der forstås ved “videnskab”. Tilhængerne af en udvanding på det kosmologiske område bør være opmærksomme på den flod af alternative teorier, hvis tilhængere i så fald også vil hævde disse teories videnskabelige respektabilitet [2, 2.33].

I debatten om multiverset kan det være svært at skelne mellem videnskabelige og filosofiske argumenter. Klassiske videnskabsfilosofiske positioner indgår i striden, hvilket ikke gør den mindre interessant. Flere fortalere for multiverset udtrykker en klar ringeagt for filosofiske demarkationskriterier, som de anser for kunstige og irrelevante. Karl Poppers krav om falsificerbarhed er i særdeleshed blevet kritiseret som en lænestolsfilosofi, der ikke stemmer overens med den virkelige forsknings verden. Mens Susskind taler nedladende om de “popperazi”, der blindt følger Poppers filosofi, så mener kritikere som Lee Smolin og Ellis, at falsificerbarhed er et ultimativt kriterium for videnskabelighed. Og da multiversteorier ikke lever op til dette kriterium, så kan påstanden om et ensemble af adskilte universer ikke være andet end en “trossag”, sådan som Ellis udtrykker det.

Det er uvist, hvordan striden om de mange universer vil ende, og det er muligt, at den vil løbe ud i sandet uden at efterlade sig de store spor i fysikkens historie i det 21. århundrede. Men det er også muligt, at den vil være indledningen til en ny æra i vurderingen af kosmologiske teorier, sådan som mere entusiastiske tilhængere af multiverset tror. Under alle omstændigheder er diskussionen af principiel interesse både for fysikerne selv og for de filosoffer og historikere, der arbejder med problemstillinger i moderne fysik. Ikke blot oplever vi her uenigheder på det fundamentale plan mellem aktive forskere selv, vi oplever også, hvordan fysikerne bliver tvunget til at forholde sig til filosofiske problemstillinger, hvad enten de bryder sig om det eller ej.

Endelig er religion også involveret, om end mest indirekte. Det er således klart, at folk som Weinberg og Susskind opfatter multiverset som et bolværk mod teisme og guddommelig design. På den anden side er det også muligt at bruge multiverset som et argument for teismen, sådan som fremgår af Robert Collins’

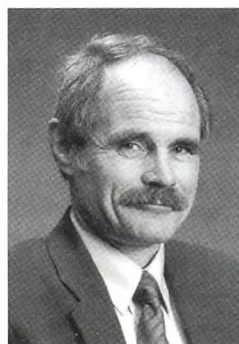
kapitel i *Universe or Multiverse?* I det hele taget er der en betydelig religiøs interesse i multiverset, om end den sjældent manifesterer sig direkte i fysikernes diskussion af emnet. Templeton Foundation, en amerikansk organisation som på et kristent grundlag søger at stimulere dialogen mellem naturvidenskab og religion, sponsorerede i 2005 et symposium på Stanford University om multivers og strengteori, hvor flere prominente fysikere diskutererede de religiøse aspekter.

Endelig bør det fremhæves, at den metodologiske diskussion ikke primært handler om, hvorvidt spekulationer er acceptable i fysiske teorier. Begge parter erkender, at spekulative elementer har en vigtig og legitim plads i naturvidenskaben, sådan som der er rig dokumentation for i videnskabshistorien. Det acceptable råderum for spekulationer er særlig stort i kosmologiske teorier, hvilket kun er naturligt. Uenigheden drejer sig altså ikke om, hvorvidt multiverset er en spekulativ teori – hvad den utvivlsomt er – men om, hvorvidt det er en videnskabelig eller en filosofisk spekulation.

Litteratur

- [1] B. Carr, ed. (2007), *Universe or Multiverse?* Cambridge.
- [2] B. Carr & G. Ellis (2008), *Universe or multiverse?* *Astronomy & Geophysics* bind 49, 2.29-2.37.

- [3] G. Ellis, U. Kirchner & W. Stoeger (2004), Multiverses and physical cosmology, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* bind 347, nr. 3, s. 921-936.
- [4] M. Rees (2003), *Our Cosmic Habitat*, London.
- [5] L. Susskind (2006), *The Cosmic Landscape: String Theory and the Illusion of Intelligent Design*, New York.
- [6] M. Tegmark (2003), Parallel universes, *Scientific American*, maj 2003 (arxiv:astro-ph/0302131).
- [7] A. Vilenkin (2006), *Many Worlds in One*, New York.
- [8] A. Barrau (2007), Physics in the multiverse, *Cern Courier*, 20. november 2007 (<http://cerncourier.com/cws/article/cern/31860>).



Helge Kragh er professor i videnskabshistorie ved Institut for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet, og arbejder især med de fysiske videnskabers nyere historie. Han har ledet udgivelsen af firebindsværket "Dansk Naturvidenskabs Historie".

KIF og WIPS Årsmøde 2009

Af Tina Christensen, DMI

Vanen tro holder Netværk for Kvinder i Fysik (KIF) årsmøde i forbindelse med DFS-årsmødet, og ligesom DFS-mødet i år er et fællesnordisk møde, afholdes KIF-mødet i år sammen med WIPS, Women In Physics in Sweden. I år er stedet DTU og tidspunktet er mandag d. 15. juni kl. 10:45-17:30.

Programmet vil bestå af fire 30-minutters foredrag, en postersession, KIF's årlige generalsamling og afslutningsvis et netværksmøde (i form af en selvfinansieret middag i byen) med yderligere diskussion og udveksling af erfaring.

De fire taleres bidrag vil spænde fra rent fysikfaglige indlæg til foredrag der også dækker de mere karrieremæssige aspekter.

De inviterede foredragsholdere er:

- Alexandra Boltasseva (DTU Fotonik)
- Eva Arnspar Christensen (Center for Membrane Physics, Syddansk Universitet) Multispecies Single Molecule Imaging With Quantum Dots
- Pia Thörngren (Physics Department, Stockholm University)
- Christiane Alba-Simionesco (Laboratoire Léon Brillouin)

Årsmødets program vil løbende blive opdateret med titler og abstracts på <http://kif.nbi.dk/>.

Alle deltagere opfordres til at medbringe en poster. Tilmelding og indsendelse af poster-abstract foregår via DFS' hjemmeside på samme vis og med samme deadlines som for DFS' nordiske møde. Prisen for deltagelse er 30 Euro.

KIF vil gerne understrege at alle fysikere, ikke kun kvinder, er overordentligt velkomne til at deltage i mødet (generalforsamlingen er dog kun for KIF-medlemmer). Sproget vil være engelsk. KIF vil specielt gerne opfordre andendelsstuderende og ph.d.-studerende til at deltage i mødet.

PFEIFFER  **VACUUM**

CRYO PUMPER

NY SAMARBEJDSPARTNER



For info og evt. tilbud, kontakt:

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

Dansk Fysisk Selskabs Årsmøde 2009 bliver Nordisk 16.-18. juni på DTU

Af Jørgen Schou, DTU Fotonik, Risø Campus, Danmarks Tekniske Universitet

Dansk Fysisk Selskab

Hjemmeside: www.dfs.nbi.dk

Jørgen Schou (formand)

DTU Fotonik, Risø Campus,
Danmarks Tekniske Universitet
4000 Roskilde

E-mail: j.schou@risoe.dk

Tlf. 4677 4755 / Fax 4677 4565

Johannes Andersen (næstformand) (ja@astro.ku.dk)

Helge Knudsen (kasserer) (hk@phys.au.dk)

Ian Bearden (ianbearden@mac.com)

Cathrine Fox Maule (cam@dmi.dk)

Kim Lefmann (lefmann@fys.ku.dk)

Anders Kristensen (ak@nanotech.dtu.dk)

- Andrew Boothroyd (Oxford University, UK): *FeAs high-temp. superconductors*
- Christiane Alba-Simionesco (LLB, CEA, France): *The new holy grail: A quest for a growing correlation length in glass physics*
- Eric Mazur (Harvard University, USA): *Physics education*
- Joachim Stöhr (Stanford Synchrotron Radiation Light-source, USA): *Synchrotron radiation and nanoscience*
- Mikhail Lukin (Harvard University, USA): *Atomic physics and quantum optics*.

Derudover vil der vil være et foredrag som after-dinner talk af Dorte Dahl-Jensen (NBI, København Universitet). Endvidere vil der være parallelsessioner i astrofysik, atom-, molekylfysik & optik, faststoffysik, nano- og materialefysik, kerne- og højenergifysik, bio- og medicinsk fysik, plasmafysik samt uddannelse og formidling.

Betal venligst dit kontingent til DFS til tiden enten via PBS eller det udsendte girokort. Selskabet har hvert år et stort arbejde med at sende rykkerskrivelser ud.

Opdatering af DFS' medlemsregister

Dansk Fysisk Selskabs medlemsregister skal opdateres. Send din e-mailadresse til Dansk Fysisk Selskab til Andresen@fys.ku.dk. Fremover vil et stigende antal meddelelser fra selskabet blive sendt som e-mail.

DFS årsmøde 2009

Dansk Fysisk Selskabs årsmøde 2009 den 16.-18. juni på Danmarks Tekniske Universitet (DTU) bliver Nordisk. Alle nordiske selskaber vil deltage i arrangementet, som bliver det første af sin slags. Det er en stor chance for at etablere et nordisk netværk for alle, og vi håber, at mange danske fysikere og studerende vil benytte lejligheden til at møde kolleger fra de andre nordiske lande. Et nordisk møde betyder også, at vi kan tiltrække internationale foredragsholdere, som vi ved et rent nationalt møde ville have svært ved at få til Danmark.

Mødet vil finde sted i bygn. 116 på DTU. Mødet starter kl. 12.30 tirsdag den 16. juni og slutter torsdag den 18. juni kl. 13.00. Umiddelbart derefter kl. 13.30 holdes der generalforsamling i DFS. Dagen før DFS-årsmødet, mandag den 15. juni, holder netværk for Kvinder i Fysik (KIF) sit årlige møde også på DTU, i bygn. 306.

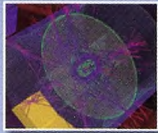
Det Nordiske møde vil indeholde følgende plenarforedrag (Foreløbige titler):

- Michel Mayor, (University of Geneva, Switzerland): *Exoplanets: The amazing diversity of planetary systems*
- Dietmar Block (University of Kiel, Germany): *Dust plasma and micro gravity*
- Kishan Dholakia (St. Andrews University, UK): *Advanced micromanipulation for colloidal and biological science*

1st Nordic Meeting in Physics

16-18 June 2009 Copenhagen

Arranged by the Danish Physical Society in collaboration with all Nordic Physical Societies



Plenary talks • Topical sessions • Poster sessions • Exhibitions

Sessions in
Astrophysics, Atomic and Molecular Physics and Optics, Biological and Medical Physics,
Condensed Matter Physics, Educational Physics, Nanophysics and Nanomaterials,
Nuclear and Elementary Particle Physics, Plasma Physics.

Meeting for Women in Physics 15 June

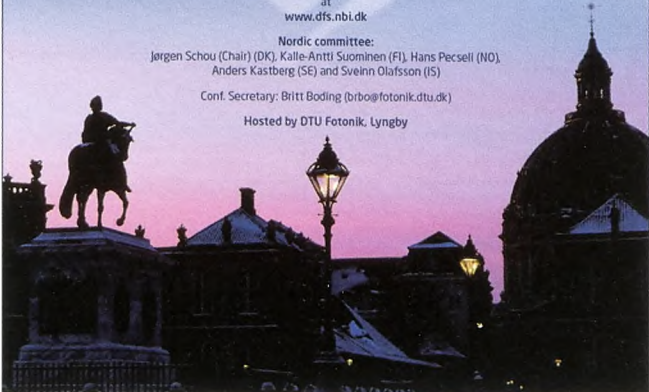
See list of speakers at: www.dfs.nbi.dk

Deadlines
Registration with reduced fee (150 Euros): 20 March
Abstract submission for oral contribution: 20 March
Reservation at hotels: 21 April
at
www.dfs.nbi.dk

Nordic committee:
Jørgen Schou (Chair) (DK), Kalle Antti Suominen (FI), Hans Pecselli (NO),
Anders Kastberg (SE) and Svein Olafsson (IS)

Conf. Secretary: Britt Boding (brb@fotonik.dtu.dk)

Hosted by DTU Fotonik, Lyngby



Sideløbende hermed vil forskningsresultater blive præsenteret som posters. DFS lægger herunder særlig vægt på at give yngre forskere mulighed for at præsentere deres resultater for en bredere kreds. Endelig vil en større række

nordiske firmaer demonstrere nyt forskningsapparat for mødedeltagerne på en udstilling. Som noget nyt vil en række forlag vise nye bøger og tidsskrifter ved udstilling på mødet.

Som et nyt initiativ vil der også være et plenarforedrag for fysik uddannelse, da DFS ønsker at styrke selskabets aktiviteter indenfor undervisning, uddannelse og formidling.

Alle landets fysikere opfordres til at deltage i Dansk Fysisk Selskabs Nordiske møde med indlæg og posters og ikke mindst til at bidrage til en livlig diskussion af spændende forskningsresultater.

Program

Årsmødeprogrammet findes på DFS's hjemmeside (www.dfs.nbi.dk). Det vil løbende blive opdateret i takt med modtagelsen af indsendte abstracts. Det endelige program forventes at være klar i midten af maj.

Nordisk posterpris 2009

DFS ønsker at opretholde det øgede fokus indledt sidste år på årsmødets postersession. Kriterierne, som komiteen efter bedste evne vil benytte under udvælgelsen af årsmødets bedste poster er følgende: Originalt videnskabeligt indhold, rimelig informationsmængde, æstetik, overskuelighed, struktur, "special effects", og endelig er en engageret præsentation også et plus. Derfor skal posterforfatterne være til stede ved posteren i den ene af de to poster sessioner. De tre bedste poster vil udover den obligate vin- og chokoladepræmie også blive hædret med diplomer. Vinderne kåres udmiddelbart efter sidste foredrag.

Pris for bedste foredrag af ph.d. studerende

I lighed med DFS' møde sidste år vil det Nordiske møde også uddele en pris med den traditionelle vinpræmie for det bedste mundtlige foredrag givet af en ph.d. studerende. Ligesom ved posterprisen lægges der vægt på originalt videnskabeligt indhold, rimelig informationsmængde og en engageret fremlæggelse af foredraget.

Frist for tilmelding og indsendelse af abstracts

Fristen for tilmelding til årsmødet og for indsendelse af abstracts for foredrag er **fredag den 20. marts 2009**. Tilmeldinger modtages dog også efter denne dato, men til en højere pris. Bemærk at en tilmelding er først gyldig, når konference afgiften er betalt og modtaget. Derudover vil abstracts modtaget efter den 20. marts ikke nødvendigvis komme i betragtning til mundtlige foredrag. Studerende kan ikke søge om friplads (se nedenfor) efter tilmeldingsfristens udløb. Også abstracts kan indsendes efter fristens udløb, men bidrag indsendt senere end 1. maj vil ikke komme med i det trykte program, og indsenderen får kun mulighed for en posterpræsentation.

Tilmelding, priser m.v.

Tilmelding til DFS/KIF-møderne foretages direkte på DFS'hjemmeside (www.dfs.nbi.dk). Pris for medlemmer tilmeldt inden den 20. marts er 150 Euro, mens prisen for ikke-medlemmer og medlemmer tilmeldt efter den 20. marts er 180 Euro. Tilmeldingen er først gyldig, når betalingen er modtaget. Benyt venligst kreditkortbetaling, da dette går hurtigt og effektivt. I konferenceafgiften er tre frokosten og konference-dinner tirsdag samt bustransport til

hoteller i København tirsdag aften inkluderet. Betingelserne for eventuel tilbagebetaling ved afbud vil fremgå af hjemmesiden. Det Nordiske møde foregår på DTU, bygning 116, mens KIF-mødet foregår i bygning 306, DTU.

Hoteller.

Hotelværelser skal individuelt bookes, og DFS påtager sig intet ansvar hermed. Der er reserveret et stort antal værelser, bl. a. på CABINN indtil 21. april. Der skal faxes af reservations nr. (hentes på DFS' hjemmeside www.dfs.nbi.dk) til hotellet. Afbestillinger skal direkte foretages med hotellet, og eventuelle gebyrer pga. for sen afbestilling vedrører ikke DFS.

Fripladser for studerende: Søg inden den 20. marts!

For studerende, der ikke er indskrevet på Ph.D.-studiet, vil der være et antal fripladser. Ansøgning om en af fripladserne sker ved at sende det udfyldte skema fra hjemmesiden www.dfs.nbi.dk elektronisk til Britt Boding, DTU Fotonik (brbo@fotonik.dtu.dk). Studerende kan få friplads af DFS, og her er det en forudsætning, at man er medlem. Fripladserne vil blive fordelt kort tid efter tilmeldingsfristens udløb, og man vil modtage særskilt besked herom senest den 1. maj. Hvis pladserne er brugt op, har man fortsat mulighed for at deltage mod betaling som anført på tilmeldingsskemaet. For studerende fra universiteter udenfor Storkøbenhavn, vil der være mulighed for at søge hotelovernatning, typisk i et delt dobbeltværelse.

Abstracts

Fristen for indsendelse af abstracts til mundtlig præsentation er **fredag den 20. marts 2009**. Abstracts indsendes via DFS' hjemmeside (www.dfs.nbi.dk). De Nordiske sessionskomiteer sammensætter programmet på grundlag af bl.a. de indsendte abstracts, og deltagerne vil få meddelelse herom senest den 15. april, hvis deres bidrag er udvalgt til et foredrag. De øvrige bidrag (samt hvis man ikke ønsker foredrag) vil blive præsenteret i en posterudstilling. Posterboards er 1,20 m brede og 1,60 m høje. Se endvidere omtalen af den nordiske posterpris 2009 ovenfor. De indsendte abstracts vil løbende være tilgængelige på internettet. Overhold venligst tidsfristen for rettidig indsendelse (se afsnittet om tidsfrister ovenfor).

Sprog

Årsmødets sprog er engelsk. Generalforsamlingen i DFS vil dog foregå på dansk.

Transport

Transport til/fra DTU fremgår af hjemmesiden. Som hovedregel sørger deltagerne selv for transport til konferencestedet. Tirsdag den 16. juni vil der i perioden 11.00-12.00 blive arrangeret bustransport fra Lyngby Station til konferencestedet. Efter postersessionen tirsdag aften vil der ligeledes blive arrangeret fri bustransport mellem konferencestedet og hotellerne i centrum.

Yderligere information

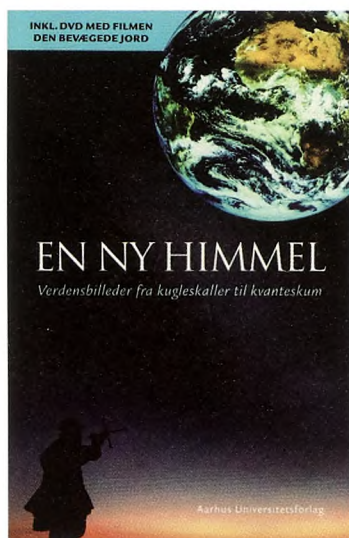
Spørgsmål vedrørende årsmødet besvares ved at sende en e-mail til Britt Boding (brbo@fotonik.dtu.dk).

Aktuelle bøger

Af Michael Cramer Andersen, Jens Olaf Pepke Pedersen og Finn Berg Rasmussen, KVANT

Dansk film og bog markerer astronomiåret

Af: Lars Becker-Larsen, Jan Faye m.fl. Aarhus Universitetsforlag 2009, "En ny himmel – Verdensbilleder fra kugleskaller til kvanteskum", 154 sider, inkl. filmen "Den bevægede jord", 198 kr. <http://www.unipress.dk>.



Denne bog og film handler om hvordan den moderne naturvidenskab opstod. I bogen er indlagt en dvd med filmen "Den bevægede jord", instrueret af Lars Becker-Larsen. Filmen har flotte billeder og fortæller den spændende historie om Nikolaus Kopernikus, der i 1543 fremsatte den "kætterske" påstand, at Jorden ikke er verdens urokkelige centrum, men en planet i kredsløb om Solen. Trods massiv modstand fra kirken fulgte bl.a. Tycho Brahe, Bruno, Kepler, Galilei og Newton op og forsøgte at afgøre om Jorden bevægede sig. Filmen handler især om Tycho Brahe, hvis arbejde igennem 20 år på Hven skabte fundamentet for vort nuværende verdensbillede af Solsystemet og for den moderne naturvidenskab. I bogen uddyber og perspektiverer 10 eksperter filmen. Godt halvdelen af bidragene handler om fysik og astronomi – de øvrige omhandler bl.a. litteratur, politik og religion.

Jan Faye beskriver det antikke verdensbillede med Jorden i midten, som det blev beskrevet af Aristoteles i de to værker "Om himlen" og "Fysikken". De gav tilsammen et samlet verdensbillede, som passede fint med Biblen, hvorfor det kom til at dominere i næsten 1400 år.

Steen Hannestad beskriver hvordan de resultater Tycho Brahe, Kepler og Galilei opnåede, blev sammenfattet af Newton og videreudviklet af hans efterfølgere.

Hanne Hautop Lund beskriver Galilei og den naturvidenskabelige metode. Galilei var både en god eksperimentalfysiker og en god matematisk fysiker, men Hanne Hautop Lund er meget skeptisk overfor, om han selv udførte forsøg med penduler og kugler der falder. Kun hans observationer gennem teleskop kan dokumenteres. Galilei beskrev med andre ord hvordan man idéelt set beskriver videnskab, men opfyldte ikke altid kriterierne selv.

Ulrik Uggerhøj beskriver i sit kapitel "Nutidens spirende omvæltninger". Her hører vi om de fire naturkræfter og forsøgene på at forene dem. Nogle af de idéer der er foreslået,

som måske vil ændre vores verdensbillede er: kvanteskum, ekstra rumlige dimensioner, superstrenger, supersymmetri og nye former for geometri, hvor f.eks. den kommutative lov ikke er opfyldt. Et spændende kapitel, der bl.a. også forholder sig kritisk til strengteorien.

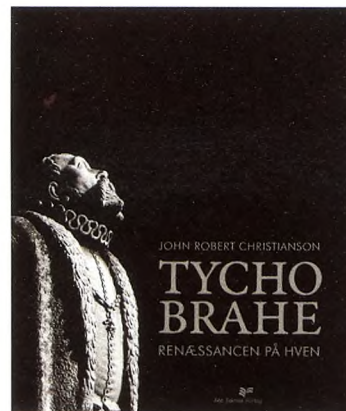
Helge Kragh beskriver forholdet mellem tro og viden, og om disse to erkendelsesformer er i konflikt eller harmoni. Han afliver flere myter, bl.a. at Kopernikus skulle have udsat offentliggørelsen af sit hovedværk af frygt for kirkens reaktion. Tværtimod blev naturvidenskaben set som et kristent projekt. Kopernikus havde allerede fremsat idéen om et heliocentrisk system i 1510 – altså 33 år før den fulde teori blev udgivet. Ingen af de to udgivelser vakte den store interesse hverken blandt fagastronomer eller i de kristne kirkesamfund. Først i starten af 1600-tallet, da den katolske og protestantiske kirke stridedes, indgik Kopernikus' teorier i den ideologiske kamp. Kepler, Bruno og Galilei navigerede med varierende succes i dette spændte miljø.

Bogen og filmen markerer det internationale astronomiår og de kan begge varmt anbefales og de supplerer hinanden meget fint.

Michael Cramer Andersen

Tycho Brahes magt og mange medarbejdere

Af: John Robert Christianson. Nyt Teknisk Forlag, 2008, "Tycho Brahe – Renæssance på Hven", 487 sider, indb., 499 kr. <http://www.nyttf.dk>.



Videnskabshistorikeren John Robert Christianson har tidligere skrevet bogen "On Tychos Island", om de mange assistenter der deltog i Tycho Brahes banebrydende arbejde på øen Hven. Her blev uddannet astronomer som senere videreførte Tychos grundige observationsteknikker. Denne bog af samme forfatter går et skridt dybere idet den beskriver hvordan det kunne lade sig gøre at opbygge nordeuropas astronomiske centrum. Bogen handler om magt – hvordan Tycho brugte sin magtposition til at styre hundreder af andre menneskers liv i retning af at skabe en ny forståelse af kosmos.

Det er en spændende bog der bl.a. fortæller hvordan Tycho uddannede sig ved at rejse ud i Europa og bragte nye impulser med hjem. Han fik senere ansættelse ved hoffet og rejste ud som repræsentant for landet (Kongen). Men livet i hoffet tilfredsstillede ikke Tycho og han bad derfor om at administrere øen Hven, hvor han kunne opbygge et lille samfund efter sit eget hoved.

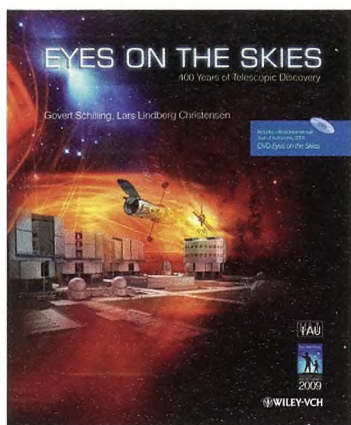
Tycho var dygtig på mange områder – et ægte renæssancemenneske – og han var ikke mindst en god organisator. Han formåede at give sine medarbejdere en følelse af, at de var halvguder, som var udvalgt til at bo som en stor familie på øen og studere universet. Der kom mange unge disciple rejsende til Tychos ø og de spredte sidenhen hans idéer. Nogle forsøgte dog at flygte, da de ikke fik meget anden løn end kost og logi. Man kan altså ikke forstå Tychos indsats fuldt ud uden at kende hans naturfilosofiske og religiøse tanker.

Bogen er blevet til ved at forfatteren igennem mange år har samlet oplysninger om alle de personer der har været knyttet til Tycho Brahe og som han er stødt på ved sin forskning. Det startede med en række kartotekskort i en skotøjsæske, udviklede sig til en database og er nu blevet til en biografisk oversigt over knap 100 personer, der udgør omkring en tredjedel af bogen. Enkelte beskrives over flere sider, men de fleste ved man kun ganske lidt om. Det er interessant at se over skuldrene på en så systematisk videnskabshistoriker. Christiansons kartotekskort omfatter bl.a. Tycho Brahers mere end 30 assistenter, hans urmager, guldsmed, instrumentmagere, korttegnere, portrættegnere, malere, gravører, bogtrykkere, alkymister og husnar! Denne del kan måske virke lidt for speciel for en læser der bare er interesseret i Tycho Brahe og hans astronomiske forskning, men for læsere der virkelig vil lære noget nyt er der meget at hente i bogen. Bogen har desuden en ordliste over fagbegreber, fyldige noter og en bibliografi.

Michael Cramer Andersen

Teleskopets fantastiske historie

Af: *Govert Schilling og Lars Lindberg Christensen*. Wiley-VCH 2009, "Eyes on the Skies – 400 Years of Telescopic Discovery", 135 sider ill., 20 euro. <http://www.eyesontheskies.org>.



Dette er den officielle bog og film i anledning af det internationale astronomiår 2009. Her fortælles den spændende historie om de mange opdagelser der er gjort med teleskoper – fra de første teleskoper til bl.a. Hubble Rumteleskopet – og hvordan de har ændret vores syn på universet. Der kastes også et blik på fremtidens kæmpe teleskoper. Bogen og filmen er kronologisk opbygget i syv kapitler, der fortæller om alle de teknologier der har ført frem til de avancerede instrumenter som professionelle teleskoper er.

1. *New Views of the Skies* – de første teleskoper afslørede svage stjerner, forstørrede fjerne objekter og viste universet som det så ud i fortiden.

2. *Bigger is Better* – udviklingen af stadigt større teleskoper førte bl.a. til opdagelsen af Universets udvidelse.

3. *Technology at the Rescue* – med hurtige computere og spejle opbygget i segmenter, samt metoder til korrektion for lufturoen, tog teleskoperne et kæmpeskridt fremad.

4. *From Silver to Silicon* – fra at observere med det blotte øje og tegne observationerne, har astronomerne siden benyttet fotografiske film og elektroniske detektorer, der har afsløret ting som øjet ellers aldrig ville kunne se.

5. *Seeing the Invisible* – teleskoper og detektorer der kan se den usynlige stråling, har afsløret aktivitet indenfor alle bølgelængdeområder.

6. *Beyond Earth* – over hundrede astronomiske satellitter i kredsløb om Jorden – ovenover den forstyrrende atmosfære – har taget knivskarpe billeder af fjerne stjerner og galakser.

7. *What's Next?* – astronomerne drømmer altid om større og bedre teleskoper og fremtidens teleskoper vil med sikkerhed afsløre nye fænomener.

Bogen og filmen er produceret i et samarbejde mellem Den Internationale Astronomiske Union og Hubble informationscentret ved ESA, som ledes af den danske astronom Lars Lindberg Christensen, der både har instrueret filmen og er medforfatter på bogen. Alene billederne er alle pengene værd og teksten er både spændende og den forklarer mange væsentlige begreber, så bogen også kan bruges til undervisning. Det er en meget vellykket udgivelse!

Michael Cramer Andersen

Plancks artikler og arbejde som redaktør

Af: *Dieter Hoffmann* (ed.). Wiley-VCH (Weinheim 2008), "Max Planck: Annalen Papers", 873 sider, 144 euro. <http://www.wiley.com>.

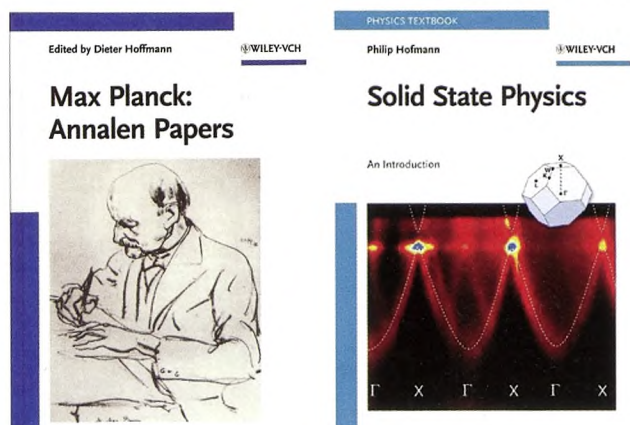
Bogen er først og fremmest et genoptryk af Max Plancks (1858-1947) artikler i det gamle tyske tidsskrift "Annalen der Physik". Artiklerne er samlet i kapitler efter emne: entropi og irreversibilitet (1887-1892) – termodynamisk ligevægt og elektrisk ledning (1881-1934) – statistisk termodynamik og stokastiske systemer (1895-1921) – strålingsteori(!) og elektrodynamik (1896-1924) – kvanteteori ("senere arbejder" 1916-1941). Hvert kapitel er forsynet med en historisk og teknisk indledning skrevet af Hoffmann selv eller af en af hans medredaktører. I tilgift får man genoptryk af en række (30 ialt) korte resuméer – typisk under 1 side – som Planck skrev for "Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie" i årene 1888-1889. Disse "Beiblätter" er et ganske interessant fænomen; det drejer sig om resuméer af artikler i andre tidsskrifter. Ét bidrag (1903) skiller sig helt ud; her bruger Planck 6 sider på en gennemgang af den netop udkomne bog af J.W. Gibbs: "Elementary Principles in statistical Mechanics, developed with especial reference to the rational foundation of Thermodynamics". Man mærker ikke, at Gibbs var en konkurrent, der netop var kommet Planck i forkøbet på dette område.

Max Planck havde et ganske særligt forhold til Annalen der Physik. Ikke alene er hans vigtigste artikler publiceret her, men han var selv i en lang periode den ene af de to redaktører. Desuden var han medlem af tidsskriftets "Advisory Board" i årene 1900-1945. Dieter Hoffmann har skrevet et indledende kapitel om Planck med særlig vægt på hans indsats for "Annalen" og for tidsskriftets udgiver, Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG). Nutidens peer review system var helt ukendt indtil det blev udviklet ved amerikanske tidsskrifter i løbet af 1930'erne. Hoffmann fortæller, at Einstein en gang i 1935 blev overrasket og dybt fornærmet over en kritisk referee rapport fra Physical Review og trak sit manuskript tilbage. Ved Annalen var det de to redaktører, der suverænt afgjorde, hvad der skulle publiceres. Fra 1906 (efter Paul Drudes selvmord) og frem til 1928 udgjordes redaktionen af Planck og Wilhelm Wien, der sammen havde næsten uindskrænket magt over tidsskriftet. Hoffmann har studeret den korrespondance, som Planck

og Wien har udvekslet bag kulisserne, og som har været meget frimodig. Manuskripter er blevet karakteriseret som diletantisk, rent vrøvl, humbug ("dummes Zeug"), og om en vis Herr Kohl skrev en af dem, at han "fuldstændig levede op til sit navn". Udadtil var tonen helt anderledes, og de to redaktører gjorde sig store diplomatiske anstrengelser for at undgå kiv og strid med afviste forfattere.

Plancks originalartikler er skrevet på tysk og gengivet således. De orienterende indføringer til hvert kapitel er på engelsk og giver nok et godt overordnet billede af Plancks bidrag til det pågældende område. I Hoffmanns indledningskapitel (også på engelsk) får man indblik i noget af DPG's og Annalen's historie under skiftende betingelser gennem første halvdel af 1900-tallet.

Finn Berg Rasmussen



Faststoffysik

Af: Philip Hofmann, Wiley-VCH (Weinheim 2008), "Solid State Physics", 233 sider, 54 euro. <http://www.wiley.com>.

Philip Hofmann har gennem en årrække afholdt et meget besøgt indledende kursus i faststoffysik ved Aarhus Universitets Institut for Fysik og Astronomi (IFA). Kurset henvendte sig til studerende fra både fysik-, kemi- og nanoteknologiretningerne. Bogen er oprindelig født som forelæsningsnoter og har siden gennemgået en udviklingsproces i vekselvirkning med studerende og med forfatterens kolleger. Jeg har som censor haft lejlighed til i nogen grad at følge denne afprøvning. Enkelte fysikstuderende besværede sig over, at de ikke fik brug for al den kvantemekanik de havde lært. På den anden side var der enkelte kemistuderende med meget lille interesse for matematiske ligninger og formler, hvis udbytte af kurset var noget begrænset. Jeg nævner dette for at fremhæve, at teksten balancerer fint mellem fysikundervisningens Schylla og Charybdis; den sigter netop på at give forståelse af grundlæggende fænomener i faststoffysikken uden overdreven brug af stringent matematik. Helt i tråd hermed slutter hvert kapitel med et sæt spørgsmål, til diskussion, foruden et sæt opgaver af mere traditionel art.

I bogens 11 kapitler gennemgås faststoffysikkens traditionelle emner: bindingskræfter – krystalstrukturer – mekaniske egenskaber – termiske egenskaber (Einstein og Debye) – metallernes elektriske egenskaber (Drude- og Sommerfeld-modeller) – halvledere (inkl. fotodioder og transistorer) – magnetisme – dielektrika – superledning (inkl. kohærens og fluxkvantisering). Nanofysik introduceres i et ganske kort kapitel, men er da også alt for omfattende til at kunne rummes indenfor denne ramme.

På forlagets hjemmeside for undervisere findes der supplerende materiale og opgaveløsninger. Af bogens forord fremgår det, at manuskriptet er blevet gennemgået af Jørn Lyngesen, forhenværende lektor ved den forhenværende Danmarks Lærerhøjskoles Fysiske Institut. For mig

bekræfter det, at bogen er af en høj pædagogisk standard, og at jeg nok skal lede længe, hvis jeg skulle kunne finde nogen fejl. Bogen anbefales som en kort, men solid indføring i faststoffysik.

Finn Berg Rasmussen

Darwin og evolution

Af: Hanne Strager, Gyldendal, "Som at tilstå et mord – Darwin og idéen der forandrede verden", 209 sider, 249 kr. <http://www.gyldendal.dk>.



I år er det 150 år siden at Charles Darwin offentliggjorde sin evolutionsteori i bogen "Arternes oprindelse ved naturlig selektion" og samtidig er det 200-året for Darwins fødselsdag. I den anledning har Zoologisk Museum i København åbnet en stor udstilling om emnet "Evolution" og desuden har formidlingschefen ved Statens Naturhistoriske Museum, biologen Hanne Strager, skrevet en bog om Darwin med titlen "Som at tilstå et mord". Denne titel er hentet fra et brev, som Darwin i 1844 skrev til sin ven, botanikeren og naturhistorikeren Joseph Hooker: "...jeg er næsten overbevist om (stik imod den opfattelse, jeg begyndte med), at arter ikke er (det føles som at tilstå et mord) uforanderlige."

I bogen fortæller Hanne Strager på medrivende vis om Darwins liv og forskning, hans personlighed og strabadser. Ikke mindst på rejsen med skibet Beagle, hvor han måtte slås med søsyge og trange forhold. Men vi får også historien om, hvor heldig han var, da han lagde grunden til sin berømmelse ved blandt andet at finde knogler fra et kæmpedovendyr, som han nærmest ikke kunne undgå at falde over. I nærheden af Punta Alta i Patagonien sejlede de nemlig forbi nogle kystskrænter, hvor knoglerne ligefrem strittede ud af skrænten. Heldigvis skulle Beagle opholde sig flere uger i området for at udføre nogle småreparationer og i mellemtiden fik Darwin indsamlet flere kasser af knogler, som blev sendt retur til England og dermed gav ham adgangsbilletten til datidens videnskabelige kredse. Vi kommer vidt omkring i bogen og hører både om Darwins personlighed og om hvordan han tøvede med at publicere sine resultater, hvilket betød at naturhistorikeren Alfred Wallace, der gjorde sig de samme tanker om evolutionen, nær var kommet Darwin i forkøbet. Så det var tæt på, at vi i dag måske ville have fejret Wallace i stedet for Darwin. Bogen skal også roses for, at vi føres a jour med de opdagelser, som er gjort efter Darwins tid.

Bogen er skrevet i en meget veloplagt og underholdende stil, og min eneste bekymring er, at det indimellem er gået lidt for stærkt for forfatteren (som for eksempel når en anden Alfred, nemlig Wegener, – ham med kontinentaldriften – konsekvent omtales som Wegner). Et indtryk, som også bekræftes af at det i forbindelse med bogens udgivelse blev nævnt, at Hanne Strager skrev bogen i sin fritid i løbet af to måneder. Det ændrer dog ikke ved, at der er kommet en meget læseværdig bog ud af anstrengelserne, og den får mine bedste anbefalinger.

Jens Olaf Pepke Pedersen

Diagnosticering af moderne solceller

Af Anders Rand Andersen, Institut for Sensorer, Signaler og Elektroteknik, Syddansk Universitet og Teknologisk Institut

Farvestofsolcellen, kendt som Dye-sensitized Solar Cell, DSC, er en relativ ny type solcelle, der kan fremstilles af billige materialer, og som på nuværende tidspunkt yder en effektivitet på 11 % i laboratorieforsøg [1] Farvestof solcellen blev udviklet af B. O'Reagan og M. Grätzel og blev beskrevet for første gang i 1991 i tidsskriftet *Nature* [2] Siden da har adskillige forskere og udviklere arbejdet intenst for at opnå en dybdegående forståelse af virkemåden af denne moderne solcelle. I denne artikel skal vi se lidt på hvad farvestofsolceller kan bruges til, og vi skal se på hvordan man kan modellere solceller ved ækvivalente elektriske kredsløb.

Hvorfor farvestofsolceller?

Det er en kendsgerning at solen forsyner jorden med $3 \cdot 10^{24}$ Joule per år, hvilket svarer til 10^4 gange civilisationens samlede forbrug. Denne energi kan i praksis udvindes ved at dække 0,1% af jordens overflade med solceller, der yder en effektivitet på 10% [1] Et oplagt spørgsmål er derfor: "Hvorfor bruger vi ikke solenergi i større udstrækning end det er tilfældet?". Et udtømmende svar på dette spørgsmål er sandsynligvis en længere forklaring der forener politiske, økonomiske og naturvidenskabelige argumenter. Hvis vi derimod søger at forklare situationen med et simpelt udgangspunkt i praktiske problemstillinger, kan vi først og fremmest se, at konventionelle siliciumsolceller koster store mængder energi at fremstille. Dette betyder at en solcelle ofte må bruge flere års levetid på at indtjene sine egne produktionsomkostninger. Af denne årsag vil en forbruger ofte vælge en alternativ løsning, medmindre solceller er den eneste mulighed.

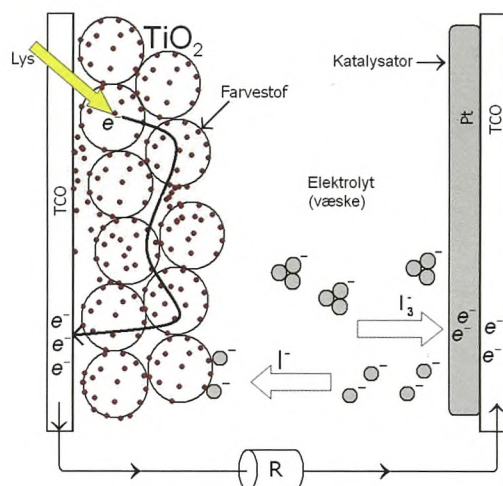
Med moderne solceller, som for eksempel farvestofsolcellen, er det muligt at løsrive sig fra den traditionelle kostbare siliciumteknologi. Farvestofsolcellen kan først og fremmest fremstilles uden brug af høj-temperatur og vakuum processer, og dernæst kan solcellen udfærdiges på glas eller på fleksible polymersubstrater. Farvestofsolcellen er tillige semi-transparent og kulørt, hvilket muliggør nye anvendelser, eksempelvis i form af intelligent solafskærmning eller indstrålingstilpassede solcellepaneler.

For at udvikle farvestofsolcellen yderligere er det derfor vigtigt at lette overgangen fra empiriske studier til detaljerede og målrettede undersøgelser, og denne overgang består delvist i at skabe en god model for farvestofsolcellen.

Farvestofsolcellens opbygning

Farvestofsolcellen kan som vist på figur 1 opbygges som en sandwichstruktur mellem to glasplader. Glassene påføres først en elektrisk ledende, transparent oxid film, en Transparent Conducting Oxide, TCO. Typisk bruges fluordoteret tinoxid ($\text{SnO}_2:\text{F}^-$) eller indiumdoteret tinoxid ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2$). På den ene glasplade påføres et ca. 10 μm tykt lag af titandioxid TiO_2 partikler. Partiklerne har typisk en størrelse på 20-40

nm. Før indfarvning sintres TiO_2 -partiklerne til TCO-filmen, således at partiklerne binder kemisk og elektrisk til nabopartikler og til TCO filmen. Ved sintringen opnås desuden en porøs struktur, således at den rette kombination af partikelstørrelse og struktur vil give anledning til et enormt overfladeareal, hvorpå farvestoffet kan bindes kemisk. På denne måde opnås en kraftig absorption af sollys. Til indfarvningen anvendes som regel ruthenium-baserede farvestoffer, der udmærker sig ved en god foto-stabilitet samt en kraftig absorption i sollysets spektrum. Farvestoffet er kemisk bundet til et lille molekyle, et "ankermolekyle" der gør at farvestoffet kan binde sig til TiO_2 -partikler, samt muliggøre elektronoverførsel. Det indfarvede lag af TiO_2 kaldes fotoelektroden.



Figur 1. Principielt opbygning af en farvestofsolcelle. Når lys trænger ind i cellen vil farvestoffet anslås og injicere elektroner ind i ledningsbåndet på TiO_2 -partiklerne. Herfra løber elektroner gennem den ydre modstand R og optages igen i cellen ved platinkatalysatoren. Slutteligt transporteres elektronerne via elektrolytten retur til farvestoffet

Den modstående ledende glasplade påføres en katalysator, eksempelvis platin eller kulstof, der således udgør modelektroden. De to glasplader kan nu hæftes sammen og volumenet mellem dem kan påfyldes en flydende elektrolyt. I praksis anvendes ofte en ramme af termoplast, der ved opvarmning kan lime glassene sammen og herefter fungere som forsegling. Forseglingen fungerer også som *spacer*. Dette betyder at glas-

pladerne fikseres med en fast indbyrdes afstand, typisk ca. 50 μm , således at ladningstransport i elektrolytten fungerer optimalt. Cellen må nødvendigvis forsegles grundigt, da flygtige opløsningsmidler i elektrolytten ellers vil fordampe.

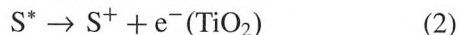
Som elektrolyt bruges i de fleste typer af celler et organisk opløsningsmiddel indeholdende et redox ionpar. Typisk anvendes en opløsning af iodid og triiodid (I^-/I_3^-) i acetonitril. Elektrolytten skal transportere ladning mellem farvestoffet i fotoelektroden og katalysatorlaget på modelektroden [4].

Virkemåde

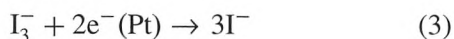
Når lys med den rette energi rammer et farvestofmolekyle S, vil der ske en excitation af farvestoffet:



h er Plancks konstant, og ν er lysets frekvens. Den exciterede elektron i S^* frigøres fra farvestoffet og injiceres i ledningsbåndet i TiO_2 elektroden via anker-molekylet mellem farvestoffet og elektroden, hvorved farvestoffet efterlades i oxideret tilstand:



Injektionsprocessen foregår øjeblikkeligt ($10^{-12} - 10^{-15}$ sek. [3]), og elektronen transporteres nu frem til TCO-filmen. Herefter transporteres ladningen ud af cellen, og efter at have afsat elektrisk effekt i en ydre modstand R returnerer elektronen til katalysatoren. Ved katalysatoren sker følgende overordnede elektrokemiske omdannelse:



I^- -ioner diffunderer retur til farvestoffet, hvorved farvestoffet regenereres (reduceres) og I^- -ionerne oxideres. Ved oxidationen af I^- dannes der I_3^- , som diffunderer tilbage til modelektroden, så processen kan begynde forfra. Når denne cyklus forløber, haves et system, der kan omdanne lysenergi fra solen til elektrisk energi uden selv at undergå en netto kemisk omdannelse [6].

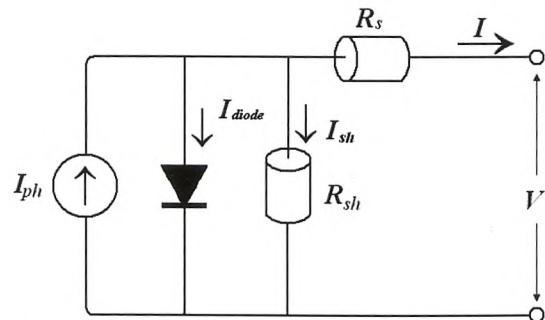
Sommetider omtales virkemåden som kunstig fotosyntese. Dette skyldes, at klorofylmolekyler i grønne blade optager lysenergi og udsender elektroner ved samme mekanisme som farvestoffet i solcellen¹.

En simpel model

Traditionelt modelleres en solcelles elektriske karakteristisk i form af ækvivalente elektriske kredsløb. Hvis vi betragter en solcelle, må et simpelt ækvivalent kredsløb primært bestå af en strømgenerator, der danner en strøm, I_{ph} , på baggrund af de indkommende fotoner. En ideel solcelle udgøres alene af en effektiv strømgenerator, men i praksis vil der altid optræde uønskede spændingsfald og strømveje. Disse effekter kan vi nu betragte enkeltvis.

Solceller er opbygget omkring en halvleder, så ét af strømtabene kan vi beskrive ved at forbinde en diode

parallelt med strømkilden i det ækvivalente kredsløb, se figur 2. For silicium solceller er dette en rigtig god model.



Figur 2. Simpelt ækvivalentkredsløb for en solcelle. I_{ph} er den strøm, der produceres på baggrund af indkommende lys, dioden modellerer et halvledermateriale med strømmen I_{diode} , og de to ohmske modstande R_s og R_{sh} beskriver henholdsvis serie og shunt modstand.

Der forekommer også ohmske modstande i solcellen. Der må være en serie modstand R_s for den strøm, der løber ud af cellen via terminalerne. I en optimeret solcelle skal R_s være så beskeden, som materialerne tillader, da der ellers vil opstå tab af elektrisk energi. Der må også forventes at være elektrisk modstand for strøm, der løber uden om dioden, og retur til strømgeneratoren. Denne modstand kaldes R_{sh} . "sh" er en forkortelse for "shunt" og betyder i denne sammenhæng en "smutvej" for elektroner, der løber retur. Modstanden R_{sh} forhindrer generelt rekombinationsprocesser og derfor bør R_{sh} være stor. En rekombination er en proces hvor der tabes en elektron. I siliciumsolceller er der tale om direkte rekombination mellem huller og elektroner. For farvestofsolceller optræder rekombination bl.a. ved tab af elektroner til elektrolytten direkte fra elektroden, eller fra områder af TCO-filmen der ikke er dækket af TiO_2 . Således haves et ækvivalent elektrisk kredsløb, der har vist sig at være en god simpel model for solcellers elektriske egenskaber. Den samlede strøm til terminalerne kan nu skrives på følgende måde:

$$I = I_{ph} - I_{diode} - I_{sh} \quad (4)$$

Vi kan lave en kredsløbsanalyse for modellen på figur 2, og på denne måde opskrive et udtryk, der indeholder nogle af de vigtigste parametre for solcellen. Solcellens effektivt genererede strøm i terminalerne er givet ved:

$$I = I_{ph} - I_{sat} \left(\exp \left[\frac{q(V + R_s I)}{n k_B T} \right] - 1 \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (5)$$

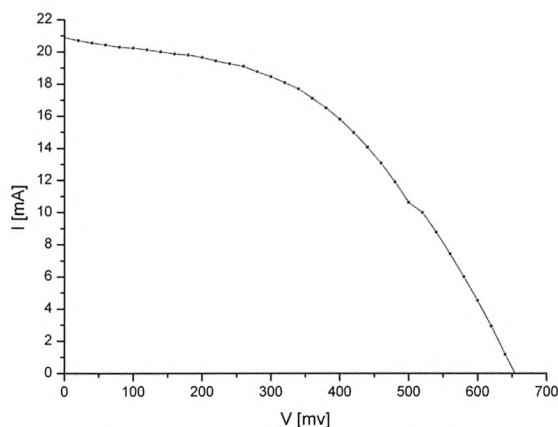
I ligning 5 er I_{diode} beskrevet ved Shockleys diodeligning hvor I_{sat} er mætningstrømmen, q er elementarladningen, $V + R_s I$ er den samlede spænding over dioden, n er diodens idealitetsfaktor, k_B er Boltzmanns konstant og T er absolut temperatur.

¹ Klorofyl er farvestoffet i grønne blade. Klorofyl kan anvendes i farvestofsolceller, men det organiske molekyle nedbrydes hurtigt i kraftigt lys, og det gendannes ikke som det er tilfældet i levende blade.

Ekstraktion af solcellens elektriske parametre

Ligning 5 bruges enten som den er, eller i let modificerede udgaver, til at ekstrahere solcellens elektriske parametre i forbindelse med kvalitetskontrol af siliciumsolceller. Dette gøres i praksis ved at tilpasse målepunkterne fra cellens *fotostrøm-spændingskurve* (sometider kaldet en *IV-karakteristik* eller en *belastningskurve*), se figur 3, til ligning 5 og derpå beregne solcellens elektriske parametre numerisk.

Hvis vi anvender den samme procedure på en farvestofsolcelle, opstår der imidlertid problemer i forbindelse med tolkningen af fotostrøm-spændingskurven. Ligning 5 er bestemt et godt udgangspunkt for en beskrivelse, af hvordan farvestofsolcellen fungerer, men koblingen mellem strømligningens enkelte parametre er større i en farvestofsolcelle end i en siliciumsolcelle.



Figur 3. Fotostrøm-spændingskurve for en farvestofsolcelle. Solcellen er fremstillet i laboratoriet på Teknologisk Institut. De sorte prikker (•) er målepunkter, og den optrukne streg forbinder målepunkterne. Solcellens effektivitet er $\eta = 6,19\%$, ved en indstråling på $P_{ph} = 100 \text{ W/m}^2$.

Vi kan illustrere problemet ved at se nærmere på R_s . Hvis vi optager en farvestofsolcelles fotostrøm-spændingskurve, som vist på figur 3, og tilpasser målepunkterne til ligning 5, får vi ganske vist en tilnærmet værdi for solcellens samlede R_s værdi, men fotostrøm-spændingskurven afslører i sig selv ikke præcist, hvilke mekanismer eller processer der giver de spændingsfald, der bidrager til den samlede R_s -værdi. For en siliciumsolcelle går det an kun at bruge fotostrøm-spændingskurven til analyse, for i dette tilfælde er R_s ikke sammensat af adskillige forskellige resistans-bidrag, men hidrører i det væsentlige kun fra spændingsfald i de ydre kontakter. For farvestofsolcellen må man derimod forestille sig, at R_s er en sum af bidrag, som det netop er tilfældet for de fleste af farvestofsolcellens overordnede parametre. Det viser sig at de væsentligste bidrag til R_s består af følgende:

$$R_s = R_{TCO} + R_{CE} + R_{diff}. \quad (6)$$

Her er R_{TCO} flade-modstanden i TCO-lagene, R_{CE} er den elektriske modstand for ladningsoverførsel ved

katalysatoren på modelektroden og R_{diff} er modstanden forbundet med diffusion af ioner i elektrolytvæsken.

Man kan eksperimentelt adskille nogle af de forskellige processer i farvestofsolcellen ved at måle solcellens impedans, $Z = R + iX$ ved forskellige frekvenser ω . Impedansen er groft sagt den elektriske modstand, som en komponent yder overfor vekselstrøm.

Impedansen er en kompleks størrelse der består af et rent ohmsk bidrag R samt reaktansen X , således at Z giver information om både størrelsen af den strøm, som solcellen producerer ved en given påtrykt vekselspænding og belysning, men også information om faseforskydningen mellem strøm og spænding. Disse informationer kan nu anvendes til at skelne rent resistive bidrag fra eksempelvis diffusion og ladningsoverførsel, og samtidig kan man i kraft af $X(\omega)$ estimere på hvilken tidskala en given process finder sted og således identificere processen [5].

Denne form for undersøgelse kaldes Elektrokemisk Impedans Spektroskopi, *EIS*, og teknikken kan for eksempel anvendes til levetidstudier af farvestofsolceller. Hvis der optages *EIS*-spektre på en given farvestofsolcelle før, under og efter en holdbarhedstest² vil det være muligt at sammenligne disse målinger og efterfølgende identificere og følge eventuelle ændringer i cellen.

Litteratur

- [1] M. Grätzel (2005), Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells, *Inorganic Chemistry* bind 44, nr. 20, s. 6841-6851.
- [2] B. C. O'Regan and M. Grätzel (1991), A low-cost high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, *Nature (London)* bind 353, nr. 6346, s. 737-740.
- [3] A. Yartsev (2008), Photoinduced interfacial electron injection in RuN3-TiO₂ thin films, *Chemical Physics Letters* bind 462, nr. 4-6, s. 205-208.
- [4] Antonio Luque and Steven Hegedus (2002), Handbook of photovoltaic science and engineering, Wiley.
- [5] Liyuan Han, Naoki Koide, Yasuo Chiba and Takehito Mitate (2004), Modeling of an equivalent circuit for dye-sensitized solar cells, *Applied Physics Letters*, bind 84, nr. 13, s. 2433-2435.
- [6] Laurence M. Peter (2007), Dye-sensitized nanocrystalline solar cells, *Phys. Chem. Chem. Phys.* bind 9, s. 2630-2642.



Anders Rand Andersen er fysiker og ph.d-studerende. Projektet er et samarbejde mellem SENSE – Institut for Sensorer, Signaler og Elektroteknik ved Syddansk Universitet, og Center for Plastteknologi ved Teknologisk Institut.

²En sådan test kunne være opvarmning til 85 °C i 1000 timer

Jets fra Centaurus A's sorte hul

Nye observationer af den aktive galakse Centaurus A (NGC 5128) viser intense jetstråler, der skyder ud vinkelret fra galakseskiven. Centaurus A ligger forholdsvis tæt på vores egen Mælkevej – omkring 13 mio. lysår fra os – og er en elliptisk galakse, der er i gang med en sammensmeltning med en spiralgalakse. Denne kollision resulterer i en forøget stjernedannelse i dele af galaksen.

I den centrale del af Centaurus A ligger der et supertungt sort hul, der er årsag til et meget aktivt og kraftigt lysende centralområde. Det sorte hul udsender store mængder af energirig radio- og røntgenstråling, hvilket er blevet bekræftet i målingerne. På billedet ses

desuden en gigantisk støvring omkring den enorme galakse. Jetstråler udslyn- ges fra en radiokilde i galaksens cen- trum, hvilket er et typisk tegn på tilste- deværelsen af et supermassivt sort hul. Observationerne af røntgenstråling viser både den energirige stråling og de jet- stråler, der skyder ud vinkelret på skiven fra det sorte hul.

De nye målinger af submillimeter strålingen afslører, hvordan jetstrålerne danner store bobler (de såkaldte lobes), når de støder ind i den omkringliggende gas. Målingerne peger på at materi- alet i jetstrålerne bevæger sig med en hastighed på ca. halvdelen af lysets.



Centaurus A ligger i stjernebilledet Kentaurus (Centaurus). Billedet bygger på observationsdata fra ESOs Atacama Pathfinder Experiment (APEX) teleskop i Chile, hvor man har kombineret synligt lys med submillimeter-stråling og røntgenstråling (ESO).