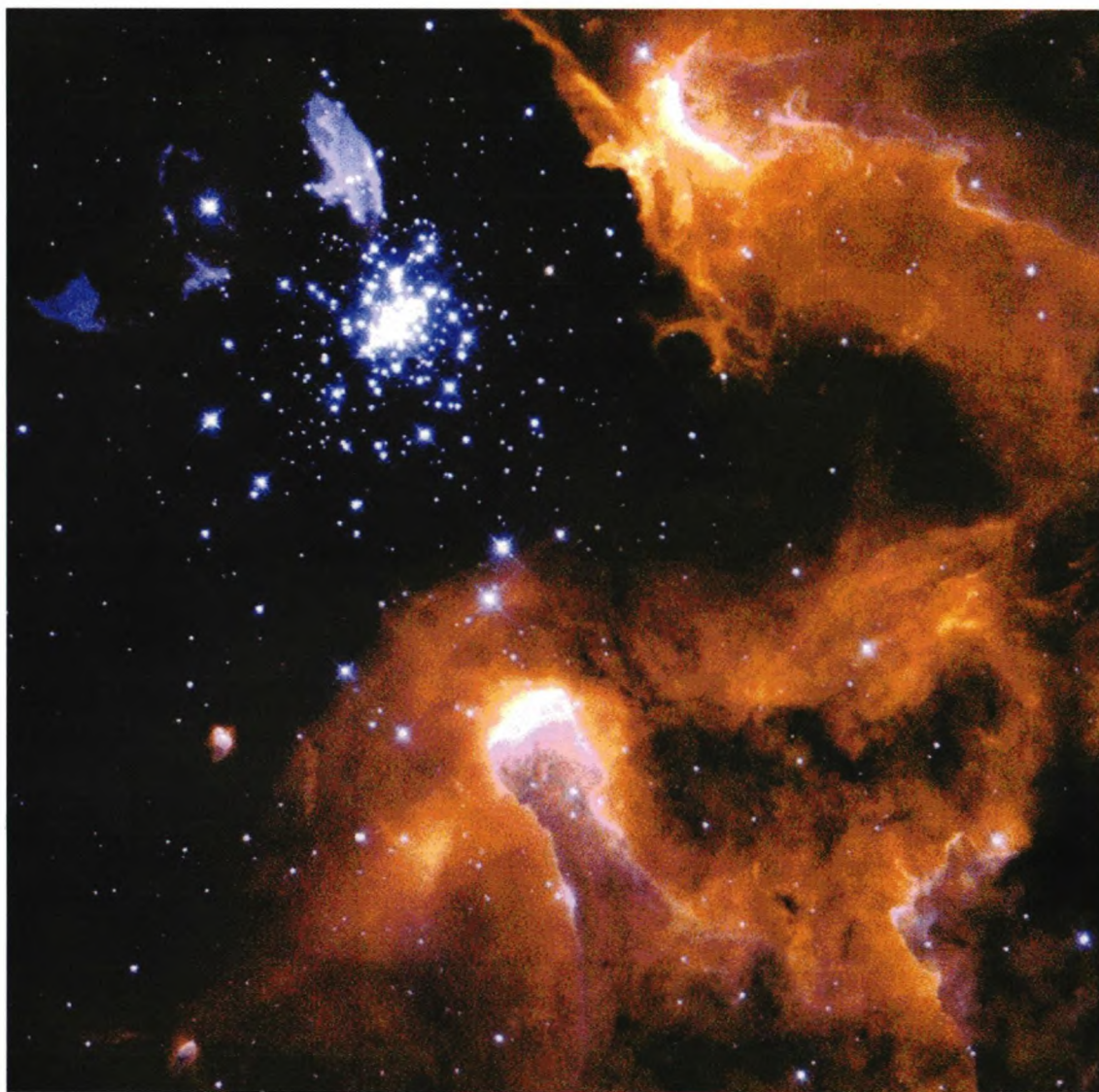


# KVANT December 4 1999

---

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 10. årgang

---



- KVANTE TELEPORTATION • UNGE KUGLEHOBE •
- NOBELPRISEN I FYSIK 1999 • ØRSTED UNDER LUP •
- DET HERRENS ÅR 532 – EN TIDSREGNINGS FØDSEL •
- DEN INTERNATIONALE ASTRONOMISKE UNION • SOLFORMØRKELSE •

LØSSALGSPRIS: 35 KR



# KVANT

## Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

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

### Udgives af

Astronomisk Selskab  
Dansk Fysisk Selskab  
Selskabet for Naturlærens Udbredelse

### Redaktion

Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv. red.)  
DCESS, NBIfAFG, KU  
Michael Cramer Andersen (nyhedsred.)  
Astronomisk Observatorium, KU  
Camilla Bacher  
Kemisk Institut, KU  
Jørgen Friis Bak  
Aarhus Universitet  
Jørn Johs. Christiansen  
Roskilde Kathedralskole  
Torsten Freltoft  
NKT Research Centre  
Mogens Esrom Larsen  
Matematisk Institut, KU  
Finn Berg Rasmussen  
Ørsted Laboratoriet, KU  
Ove Østergaard  
Silkeborg Amtsgymnasium

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

### Annoncepriser

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

Priserne er excl. moms og for reproklart materiale. Henv. om annoncer til Redaktøren, tlf. 35 32 05 73 / fax 35 32 05 76.

Oplag: 2500

Tryk: P. J. Schmidt, Vojens  
ISSN 0905-8893

### Produktionsplan

Nr. 1-00 udkommer ca. 15. marts  
Nr. 2-00 udkommer ca. 15. maj  
Nr. 3-00 udkommer ca. 15. september  
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

## Indhold:

### Kvante Teleportation

*Jens Lykke Sørensen og Eugene S. Polzik* . . . . . 3

### IAU - udsigt fra broen

*Johannes Andersen* . . . . . 10

### Dannelse af unge kuglehobe i andre galakser

*Søren S. Larsen* . . . . . 13

### Læserbreve i Kvant

*Kay Akselbo* . . . . . 19

### Det Herrens År 532 – en tidsregnings fødsel

*Chr. Marinus Taisbak* . . . . . 20

### Valg til bestyrelsen og sektionerne i DFS

*Valg udskrevet til 10. april 2000* . . . . . 28

### Nobelprisen i Fysik 1999

*Benny Lautrup og Jens Lyng Petersen* . . . . . 29

### Kvant skifter navn

*Tidsskrift for Fysik og Astronomi* . . . . . 32

### Total solformørkelse i Bulgarien d. 11. august 1999

*Michael Cramer Andersen* . . . . . 33

### Tilmeldingsblanket – DFS Årsmøde 2000 . . . . . 38

### Kvant-nyheder

*Michael Cramer Andersen* . . . . . 39

### H. C. Ørsted under lup – I anledning af en kritisk beretning om "Det polytekniske gennembrud"

*Ove Nathan, Niels Bohr* . . . . . 41

### Næste nummer af Kvant . . . . . 42

### Nyt fra Astronomisk Selskab . . . . . 43

### Nyt fra Dansk Fysisk Selskab . . . . . 44

### Alt i en bog

*Jens Olaf Pepke Pedersen* . . . . . 46

### Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse . . . . . 47

### Kupon til bestilling af Kvant . . . . . 47

## Forsiden:

### STJERNER – FRA FØDSEL TIL DØD.

Billedet på forsiden, taget med *Hubble Space Telescope*, viser stjerneboben NGC 3603 i Mælkevejen. Den store stjerne øverst til venstre i billedet er en såkaldt "dommedagsstjerne" på omkring 25-50 solmasser. Denne stjerne kan eksplodere som en supernova om 1-10000 år (hvilket er meget kort tid i astronomisk sammenhæng). Der er en ring af gas omkring stjernen som svarer til supernova 1987A. Nederst, og øverst til højre, ses to søjler af gas der bliver ioniseret af UV-strålingen fra den blå stjernebob. Opfølgende observationer med det europæiske *Very Large Telescope* har fundet en stjernebob i bunden af den nederste gassøjle. Det betyder, at "sekundær stjernedannelse" starter før den første massive stjerne i boben eksploderer med store konsekvenser for den omkringliggende gas, der "kun" ligger 3-5 lysår væk fra boben. Læs mere om VLT's observationer i nyhederne side 39.



# Kvante Teleportation

Jens Lykke Sørensen og Eugene S. Polzik, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet..

Ser man efter i Webster's Dictionary [1] vil man opdage at ordet *teleportation* på engelsk dækker over det at flytte ting ved hjælp af tankens kraft. Den definition, som vil blive brugt i det følgende, er nu nærmere inspireret af science fiction litteraturen, hvori man transporterer objekter tilsyneladende momentant ved at destruere dem et sted og samle dem andetsteds. Helt præcist bruger vi her ordet teleportation for processen, hvori man flytter et objekt udelukkende ved at transmittere informationen, som er nødvendig for at beskrive objektet.

## Ikke Klonings Teoremet

Heisenberg's usikkerheds relationer fortæller os at vi ikke samtidigt kan måle to observable, hvis operatorer ikke kommuterer. Dette kunne for eksempel være sted  $x$  og impuls  $p$  for en partikel i en dimension

$$[x, p] = i\hbar. \quad (1)$$

Antager vi at partiklens impuls bliver målt til tiden  $t$ , ved vi at bølgefunktionen efter målingen er en impuls egentilstand beskrevet ved en plan bølge

$$\psi(x) = \exp(ikx)/\sqrt{2\pi V} \quad (2)$$

hvor  $k = p/\hbar$ . Denne bølgefunktion indeholder tydeligvis ingen information om positionen af partiklen. Havde vi omvendt valgt at måle partiklens position  $x_0$  ville partiklen være beskrevet ved bølgefunktionen

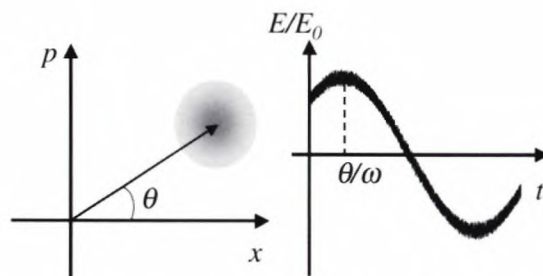
$$\psi(x) = \delta(x - x_0) \quad (3)$$

hvor  $\delta(x)$  er Diracs deltafunktion. I impulsrummet er partiklen nu beskrevet ved en plan bølge, hvilket viser at impulsen ikke er veldefineret.

Vi kan altså ikke opnå kendskab til alle partiklens egenskaber via målinger og derfor kan vi heller ikke klon partiklens kvantetilstand beskrevet ved  $\psi(x)$ . Dette er indholdet af Ikke Klonings Teoremet.

Umiddelbart lyder dette som en krævende men ikke desto mindre trivial opgave, hvilket også er tilfældet så længe vi arbejder på et makroskopisk plan. I den mikroskopiske verden beskrevet ved kvantemekanikken

er teleportation derimod en kompliceret proces som ved første øjekast synes umulig. For at forstå problemerne forbundet med kvante teleportation må vi bevæge os ind i det, i fysikken relativt nye felt, kaldet kvante information [2]. Her opfylder det såkaldte *Ikke Klonings Teorem* [3] en central plads. Dette udtaler sig i grove træk om at det ikke er muligt at kopiere en kvantetilstand. Derfor er en måling i klassisk forstand på objektet, som skal teleporteres, ikke mulig, da den herved opnåede klassiske information uden problemer vil kunne kopieres og derved sætte os i stand til at klon objektet. Grunden til at det berømte får Dolly kunne klones er at oplysningerne, som er gemt i DNA strengene, dybest set er klassisk information som kan kopieres, men set i lyset fra kvantemekanikken er Dolly og dets kopier langt fra kloner.

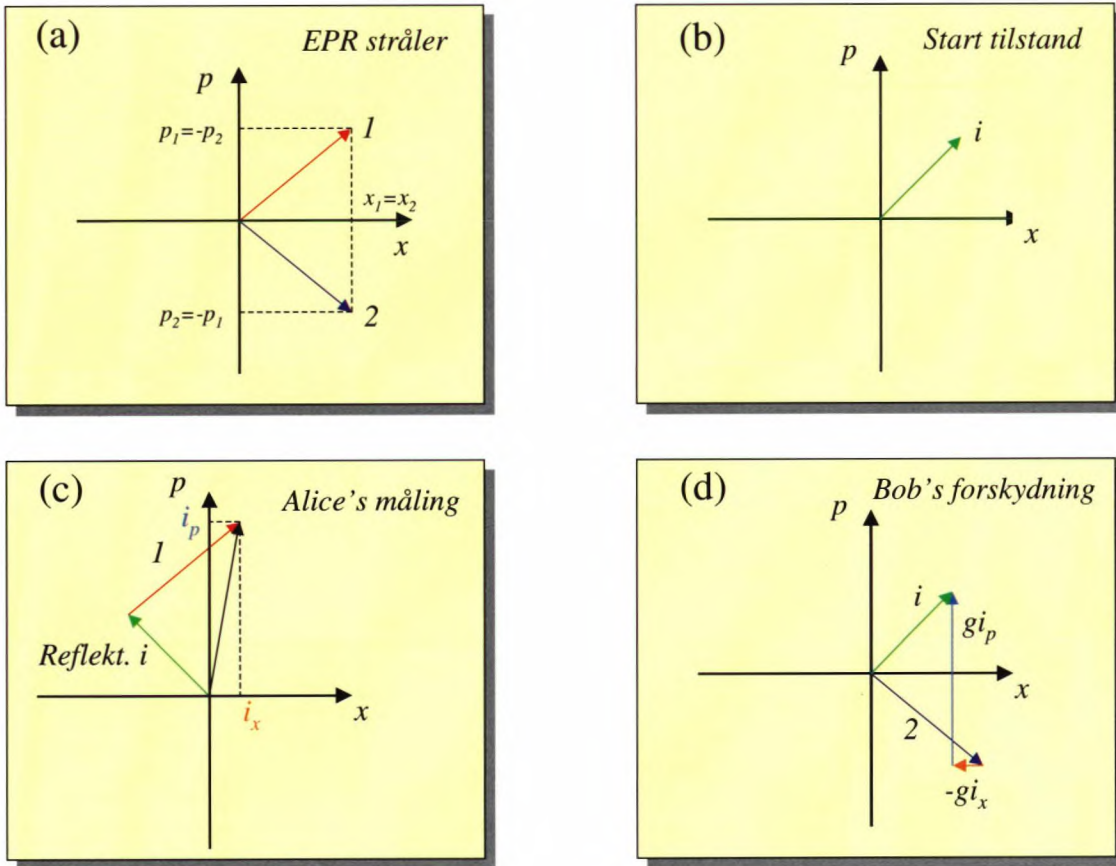


**Figur 1.**  $x, p$  repræsentation af en ideel laserstråle illustreret ved vektoren til venstre. Cirklen illustrerer usikkerheden i en samtidig bestemmelse af  $x$  og  $p$  for laserstrålen. Til højre ses den tilsvarende tidsudvikling af det elektriske felt. Fasen  $\theta$  af feltet er givet ved vinklen af vektoren med  $x$  akse.

En kvante teleportation kan altså ikke omfatte en måling, som vil give os informationer om objektets tilstand, da dette vil være i strid med Ikke Klonings Teoremet. Men, som vi skal se senere, opfylder en klasse af målinger kendt som *Bell målingerne* netop kriteriet, at de ikke giver direkte oplysninger om objektet, men rettere om korrelationer mellem objektet, som vi vil teleportere, og et referenceobjekt. Hvis dette referenceobjekt vælges til at være tilstrækkelig udefineret i en kvantemekanisk forstand, viser det sig at kvante teleportation er mulig i praksis.

Den umådelige mængde informationer som nødvendigvis må transmitteres for at teleportere et makroskopisk objekt som for eksempel et menneske gør tydeligvis opgaven uoverkommelig med vores nuværende teknologi, og praktiske anvendelser begrænser sig til områder, hvor det er påkrævet at flytte relativt få kvantesystemer. Dette kan for eksempel nemt





**Figur 2.** (a) Et øjebliksbillede af EPR strålerne. Det ses at  $p$  kvadraturerne er antikorrelerede mens  $x$  kvadraturerne er korrelerede. (b) Samme øjebliksbillede af start tilstanden  $i$ . (c) Alice's måling i et  $x, p$  diagram. På grund af et faseskift ved refleksionen på 50% spejlet ser Alice den i  $p$  akse spejlede tilstand  $i$ . Alice's 2 detektorer måler hhv. projektionen på  $x$  akse,  $i_x$  og på  $p$  akse,  $i_p$ , af den resulterende vektor  $i + 1$ . (d) Efter en passende forstærkning,  $g$ , af de klassiske signaler  $i_x$  og  $i_p$  forskyder Bob nu den tilbageværende EPR stråle 2 langs  $x$  akse med  $-gi_x$  og langs  $p$  akse med  $gi_p$ . Fortegnsskiftet på  $x$  forskydningen er påkrævet pga. at  $x_1$  og  $x_2$  er korrelerede i modsætning til  $p_1$  og  $p_2$ , som er antikorrelerede. Som illustreret opnår Bob herved netop at genskabe  $i$  ved sine manipulationer af 2. På figurene herover er  $g = 1$ , men i praksis er et  $g$  i nærheden af 140 påkrævet.

vise sig at blive nødvendigt i *kvantecomputeren*, hvor man gemmer og bearbejder information, som er kodet i kvantesystemer. Dette kunne være i spin frihedsgraden af en elektron, den indre tilstand af et atom osv. Da den lagrede information i kvantecomputeren er yderst skrøbelig og nemt udviskes ved kontakt med omgivelserne, kan kvante teleportation vise sig at være et nyttigt redskab til at transportere kvante informationen, som netop gør at dette apparat adskiller sig fra konventionelle computere.

### Ikke lokalitet og kvanteinformation

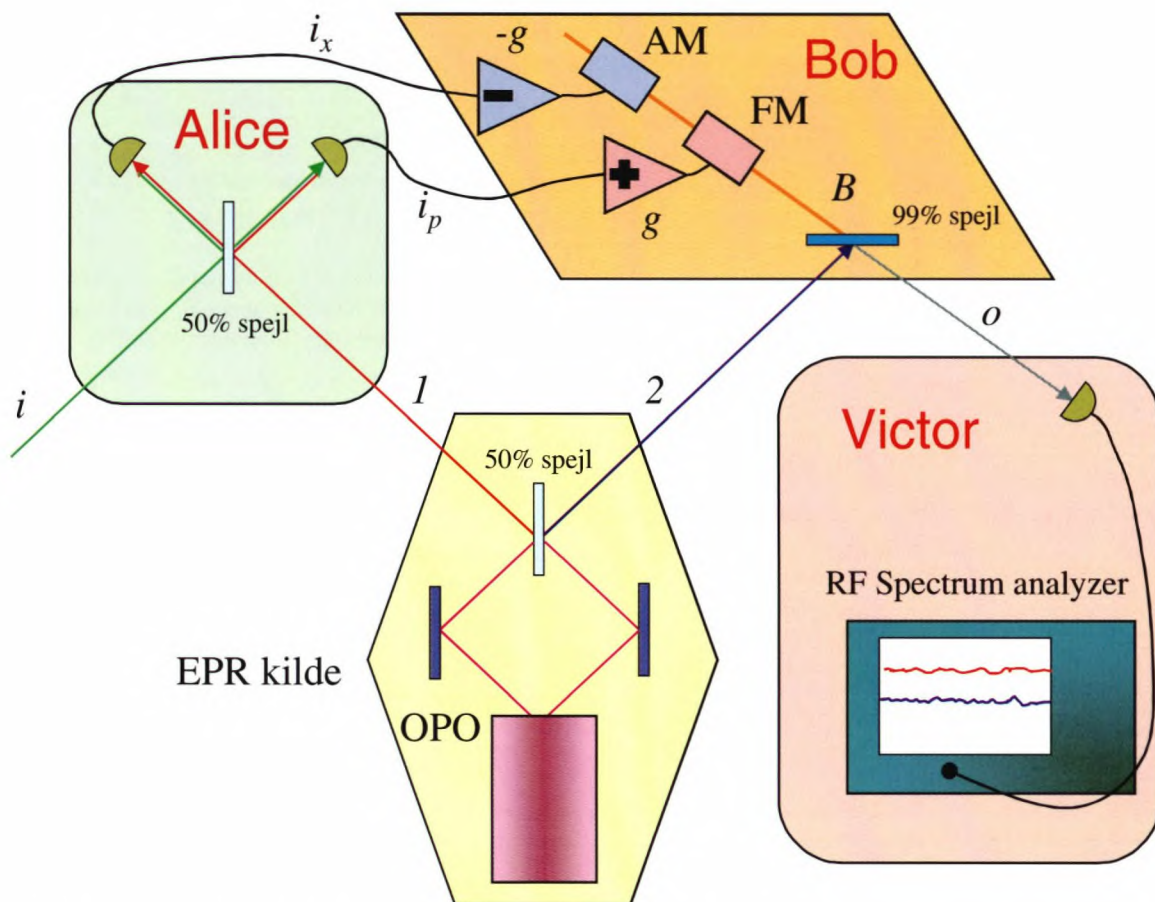
En fundamental ting i kvantemekanikken, som gør teleportation på kvanteplan mulig, er *ikke lokalitet*. Dette begreb, som Einstein aldrig kunne forliges med, angreb han sammen med Podolsky og Rosen (EPR) i den berømte artikel fra 1935 [4]. Heri fremsattes det gedanken eksperiment, som senere er blevet

kendt som EPR paradokset. Dette opstår hvis man udelukkende forlader sig på lokal realisme, men som Bohr viste [5] forsvinder paradokset hvis man lader kvantemekanikken beskrive gedanken eksperimentet.

Den form for ikke lokalitet, som anvendes i kvante teleportation, kan anskueliggøres som følger: Vi forestiller os en atomkerne i hvile, som henfalder til to skadelige men ellers ens fragmenter på stedet  $x = 0$ . Med skadelige mener vi at fragmenterne har samme masser men f.eks. modsat rettede spin. Impulsbevarelsen fortæller os nu at impulserne af de to fragmenter er lige store og modsat rettede  $p_1 = -p_2$ . Derfor ved vi, at vi altid kan finde fragmenterne placeret symmetrisk omkring  $x = 0$ . Kvantemekanisk betyder dette at fragmenterne til tiden  $t$  er beskrevet ved bølgefunktionen

$$\Psi_{12}(x) = 2^{-1/2} \left( |x_0\rangle_1 | -x_0\rangle_2 - | -x_0\rangle_1 | x_0\rangle_2 \right) \quad (4)$$





**Figur 3.** Skitse af teleportations eksperimentet. EPR kilden udgøres af to OPO'er. Disse parametriske forstærkede outputs, blandes på et 50% gennemsigtigt spejl med en passende faseforskel. Herved dannes to EPR korrelerede stråler 1 og 2. Alice blander 1 med start tilstanden  $i$  på et 50% gennemsigtigt spejl og måler hhv. kvadraturene  $x$  og  $p$  af de to herved frembragte stråler. Resultaterne  $i_x$  og  $i_p$  sendes over en klassisk kanal til Bob, hvor  $i_x$  forstærkes  $g$  gange og inverteres, mens  $i_p$  blot forstærkes med faktoren  $g$ . De forstærkede signaler driver henholdsvis en amplitude modulator (AM) og en fase modulator (FM). Modulatorerne virker på en kraftig laserstråle, som blandes med den tilbageværende EPR stråle 2 igennem et 99% reflekterende spejl. Herved bevares kvante egenskaberne af 2 og forskydninger i  $x$ ,  $p$  rummet kan udføres jfr. figur 2. Som følge af forskydningerne dannes tilstanden  $o$ , på hvilken Victor måler enten  $x$  eller  $p$  for at sammenligne støjen i disse med støjen i  $i$  og herved udregne en Fidelitet. Støjmålingen udføres på en RF spectrum analyzer.

hvor  $x_0$  er fragmenternes afstand til  $x = 0$  til tiden  $t$ . En ket som  $|x_0\rangle_1$  skal forstås som en bølgepakke for fragment 1 med middelpositionen  $x_0$  og en vis spredning. Giver vi os nu til at måle positionen af fragmenterne *samtidigt* finder vi at såfremt fragment 1 er på stedet  $x_0$  vil vi altid finde fragment 2 på stedet  $-x_0$  og vice versa. Dette er selvom fragmenternes individuelle positioner fra begyndelsen er behæftede med en vis usikkerhed. Således vil fragment 2 altså manifestere sig på positionen  $-x_0$  tilsyneladende øjeblikkeligt når positionen af fragment 1 bliver kendt via en måling. Antager man at vores verden fysisk set er lokal udgør ovennævnte situation et paradoks, da intet signal kan nå at udbrede sig fra fragment 1 til fragment 2 i tidsrummet mellem målingerne på de to fragmenter. Altså er begivenheder på stedet  $-x_0$  betingede af begivenheder på stedet  $x_0$  selvom de to positioner ikke er kausalt forbundne. Et lignende paradoks kunne opstilles ved at betragte frag-

menternes impulser. Som vi skal se er ikke lokalitet delt mellem to eller flere partikler, som beskrevet ved  $\Psi_{12}$ , nyttig, idet den udgør en kanal igennem hvilken kvanteinformation kan overføres. Netop manifestationen af fragment 2 som følge af målingen på fragment 1 kan anses som en overførsel af kvanteinformation fra stedet  $x = x_0$  til  $x = -x_0$ .

Hadde vi i stedet for sted og impuls af partiklerne betragtet deres indbyrdes spin korrelationer, ville vi kunne have udnyttet disse til at teste kvantemekanikken mod fysiske teorier baseret på lokal realisme. Dette er muligt fordi en to partikel spin tilstand som skabt ved ovennævnte henfald vil kunne bryde Bell's uligheder [6]. Dette er allerede demonstreret eksperimentelt talrige gange [7]. I relation til teleportation kan spin korrelation udnyttes til at teleportere diskrete kvantemekaniske variable [8].



## Kvante teleportation af laserlys

Teknisk set har det vist sig at ikke lokale tilstande som  $\Psi_{12}$  er relativt nemme at producere optisk. Derfor er det nærliggende eksperimentelt at prøve at teleportere lys. I praksis teleporterer vi en laserstråle, som såvel klassisk som kvantemekanisk kan beskrives fuldstændig ved at specificere amplituden og faserne af de elektromagnetiske svingninger. Her vælger vi at beskrive laserstrålen ved kvadraturerne  $x$  og  $p$ . Givet et elektrisk felt  $\hat{E}$  svingende med frekvensen  $\omega/2\pi$  er kvadraturerne defineret som

$$\hat{E}(t) = E_0(\hat{x} \cos \omega t + \hat{p} \sin \omega t) \quad (5)$$

og det kan vises at disse observable faktisk er ækvivalente med sted og impuls for en partikel i et harmonisk potentiale. Det er instruktivt at afbilde tilstanden af laserstrålen i et  $x, p$  diagram, som vektoren vist i figur 1. Da  $x$  og  $p$  ikke kommuterer er endepunktet for vektoren ikke helt veldefineret, men behæftet med en usikkerhed illustreret ved den skraverede cirkel. Målet med vores kvante teleportation er at overføre information om kvadraturerne så præcist som muligt fra et sted til et andet.

Teleportationen foregår mellem to stationer, her kaldet Alice og Bob. Alice foretager de nødvendige målinger på laserstrålen,  $i$ , som skal teleporteres, og Bob genskaber laserstrålen andetsteds. Alice og Bob er forbundet af to kommunikations kanaler: En klassisk og en kvantekanal. For at åbne en kanal for kvanteinformation mellem Alice og Bob producerer vi to laserstråler, 1 og 2, som er relaterede til hinanden således at  $x_1 = x_2$  og  $p_1 = -p_2$ . Disse er altså korrelerede i en EPR forstand, som beskrevet tidligere. Den klassiske kanal er her blot to stykker elektrisk kabel, som bærer nogle analoge signaler. Det skal bemærkes at kvadraturerne er kontinuerte frihedsgrader og at vi derfor er nødt til at overføre en løbende strøm af informationer. Dette står i modsætning til teleportation af diskrete frihedsgrader, hvor blot overførsel af to klassiske bits er påkrævet i den klassiske kanal for at fuldføre teleportationen [9].

Ifølge vores diskussion af Ikke Klonings Teoremet må Alice lave en Bell måling på  $i$ . Dette gøres ved at blande EPR strålen 1 med  $i$  på et halv gennemsigtigt spejl, der netop transmitterer 50% og reflekterer 50% af lyset. Af de to herved fremkomne laserstråler måler Alice nu kvadraturerne  $x$  af den ene og  $p$  af den anden. Ideelt set er EPR strålerne 1 og 2 betragtet hver for sig uendelig støjende, således at Alice ved sine målinger ikke opnår nogen information om  $i$ , men blot videre-sender en massiv optisk støj omsat til elektriske signaler. EPR naturen af strålerne 1 og 2 er skyld i at støjen af den ene er korreleret med støjen i den anden, således at  $\delta x_1 = \delta x_2$  og  $\delta p_1 = -\delta p_2$ . Dette udnytter Bob til at genskabe informationen om  $i$  ved at bruge støjen fra Alice's målinger til at annullere støjen i 2. Som illustreret i figur 2 opnår Bob samtidigt at genskabe en,

i princippet, perfekt kopi af  $i$ . Vi bemærker at Alice ved at blande  $i$  med den støjende 1 har slettet al information om laserstrålens oprindelige tilstand og herved lavet en total destruktiv måling som Ikke Klonings Teoremet kræver det.

I realiteten er EPR strålerne 1 og 2 hverken perfekt korrelerede eller uendelig støjende. Således vil den resulterende laserstråle produceret af Bob heller ikke være en eksakt kopi af  $i$ , men i stedet en velligende kopi, som vi kalder  $o$ . Ud over ikke ideelle korrelationer vil  $o$  også afvige fra  $i$  som følge af endelig effektivitet af Alice's detektorer, begrænset overlap på Alice's spejl osv. For at sætte tal på ligheden mellem  $i$  og  $o$  definerer vi Fideliteten,  $F$ , af vores teleportations system som overlappet mellem bølgefunktionerne beskrivende den indkommende og den udgående laserstråle

$$F = |\langle o | i \rangle|^2 \quad (6)$$

For eksperimentet beskrevet her, som bygger på laserstråler med gaussisk fordelt støj, kan Fideliteten udregnes til [10]

$$F = \frac{2}{\sqrt{(1 + \delta x_o^2)(1 + \delta p_o^2)}} \times \exp\left(-\frac{2|\alpha_o - \alpha_i|^2}{\sqrt{(1 + \delta x_o^2)(1 + \delta p_o^2)}}\right) \quad (7)$$

hvor  $|\alpha_o - \alpha_i|$  er afstanden mellem vektorerne for  $o$  og  $i$  i et  $x, p$  diagram og  $\delta x_o^2$  og  $\delta p_o^2$  er varianserne af støjen i kvadraturerne for  $o$ . Vi har antaget at støjen i  $i$  udelukkende er kvantestøj, som vi normaliserer til 1, samt at  $i$  er en kohærent tilstand eller vakuum tilstanden. Ud fra definitionen af  $F$  ser vi at  $F = 1$  svarer til ideel teleportation, da perfekt overlap mellem  $i$  og  $o$  kun kan opnås hvis de to tilstande er identiske. For at kontrollere vores teleportation indfører vi en tredje person, Victor, som dels producerer  $i$  til Alice og dels måler på  $o$  for Bob. Victor er tydeligvis i stand til at udregne Fideliteten af teleportationen.

## Klassisk teleportation

Med henblik på senere at kunne påvise kvante teleportation, dvs. teleportation som ikke vil kunne reproduceres uden brug af ikke lokale kvantetilstande, vil vi nu se på den bedst mulige teleportation, som vi kan opnå udelukkende ved brug af klassiske (kohærente) laserstråler.

Vi udfører klassisk teleportation ved at blokere de to EPR stråler vist på figur 3. Set fra et kvantemekanisk synspunkt betyder dette at Alice og Bob nu kun får tilsendt elektromagnetisk vakuum fra EPR kilden. For Alice betyder dette at hun er i stand til at opnå betragtelig information om  $i$  ved sine målinger, og at hun herved må betale en pris. Prisen i dette tilfælde er 1 enhed af kvantemekanisk vakuum støj. Med dette mener vi mængden af støj, som nødvendigvis må optræde i alle tilstande af det elektromagnetiske felt, på



grund af at kvadraturerne  $x$  og  $p$  ikke kommuterer og vi følgelig ikke har et veldefineret fototal i vakuum tilstanden. Alternativt kan vi forstå støjen i Alice's målinger som et resultat af at hun samtidigt prøver at opnå viden om både  $x$  og  $p$  for laserstrålen  $i$ . Som en følge af Heisenberg's usikkerheds relation må denne måling nødvendigvis være behæftet med et minimum af støj givet ved vakuum støjen.

Uden EPR stråler til rådighed må Bob tage til takke med at manipulere vakuum tilstanden ud fra Alice's målinger. Som før nævnt indeholder vakuum tilstanden netop 1 enhed kvantestøj. Denne støj må nødvendigvis indgå i den teleporterede laserstråle  $o$ , da den er ukorreleret med alt andet og derfor ikke kan annulleres ligesom støjen i EPR strålen 2.

Alt i alt vil den bedste klassisk teleporterede laserstråle  $o$  have samme middelværdier som  $i$ , men  $o$  vil indeholde kvantestøjen fra  $i$  plus yderligere 2 enheder af vakuum støj. Indsætter vi dette i vores udtryk for Fideliteten (7), finder vi at den største Fidelitet som kan opnås klassisk i vores system er  $F_{\text{klass}} = 1/2$ .

Dette eksempel på klassisk teleportation har været specialiseret til kun at omfatte vores forslag til en teleportations protokol, men det kan faktisk vises mere generelt at man, så længe klassiske (lokale) tilstande anvendes, ikke kan overskride  $F_{\text{klass}}$  fundet herover [11].

## Eksperimentet

Eksperimentelt er den største udfordring at frembringe to laserstråler i en fælles kvantetilstand, som udviser EPR korrelationer. Til dette formål bruger vi en Optisk Parametrisk Oscillator (OPO). Dette er en ikke lineær optisk resonator sammensat af en ring kavitet med et  $\chi^{(2)}$  medium indeni. Resonatoren opereres under sin tærskel for parametriske oscillationer, således at den virker som en fasefølsom optisk forstærker. Når OPO'en opereres ikke degenereret er det velkendt at denne netop producerer to skelnelige EPR korrelerede modes af det elektromagnetiske felt [12]. For at producere to identiske EPR modes skal vi bruge lyset fra to degenererede OPO'er. Disse laver vi ved at pumpe vores ring kavitet i begge omløbsretninger. De to herved frembragte stråler overlappes nu på et 50% transmitterende spejl med en faseforskel på  $\pi/2$ , hvorved det kan vises at to identiske EPR stråler fremkommer [13]. Med identiske stråler menes her to stråler med samme optiske frekvens og samme polarisation.

Som før nævnt overlappes den ene EPR stråle med strålen  $i$  på et spejl med 50% transmission og  $x$  og  $p$  kvadraturerne af de herved producerede stråler måles. Dette gøres ved hjælp af to homodyne detektorer med lokal oscillatorer som svinger hhv. i fase og  $\pi/2$  ude af fase med EPR strålen 1.

EPR strålen 2 sendes til Bob. Han overlapper strålen med strålen  $B$ , for hvilken han kontrollerer amplitude og fase. Den klassiske kommunikationskanal mellem Alice og Bob udgøres af 2 kabler med tilhørende

forstærkere. Forstærkningen er nødvendig af to årsager: 1) På grund af opsplitningen på Alice's 50% spejl ser hver af hendes detektorer kun halvdelen af  $i$ , hvorfor måle resultatet må forstærkes  $\sqrt{2}$  gange (detektoren måler feltet). 2) For at bevare EPR strålens kvanteegenskaber foretages overlappet af 2 med  $B$  på et spejl med 1% transmission og derfor må Bob's manipulationer forstærkes ca. 100 gange for at annullere støjen i 2. Alt i alt vil en forstærkning på 140 gange altså principielt være påkrævet. Da  $x$  kvadraturerne af EPR strålerne er korrelerede mens  $p$  kvadraturerne er antikorrelerede, er et fortegns skift nødvendigt på strømmen  $i_x$ . Derfor er dennes forstærker inverterende mens forstærkeren for  $i_p$  er ikke inverterende.

For udelukkende at være begrænset af kvantestøj bliver kun et radio frekvens (RF) sidebånd af kvantetilstanden i teleporteret. Dette befinder sig i et 100 kHz vindue omkring 3 MHz. Herved lettes Bob's opgave betydeligt, da en forskydning af  $x$  kvadraturen nu kan foretages ved at påføre  $B$  amplitude modulation ved 3 MHz og en  $p$  forskydning foretages ved fase modulation. Derfor fødes udgangene af de to elektriske forstærkere til hhv. en amplitude modulator og en frekvens modulator, igennem hvilke manipulationsstrålen  $B$  løber. Alice's opgave lettes også af RF teleportationen, da hendes detektorer nu kun behøver at registrere støjen af kvadraturerne i et 100 kHz vindue omkring 3 MHz.

For at undersøge kvaliteten af vores teleportation bliver den teleporterede stråle  $o$  sendt ind på en homodyn detektor kontrolleret af Victor. Denne kan enten måle  $\delta x_o^2$  eller  $\delta p_o^2$ , og resultaterne normaliseret til vakuumstøjen kan bruges til at beregne Fideliteten ved hjælp af (7).

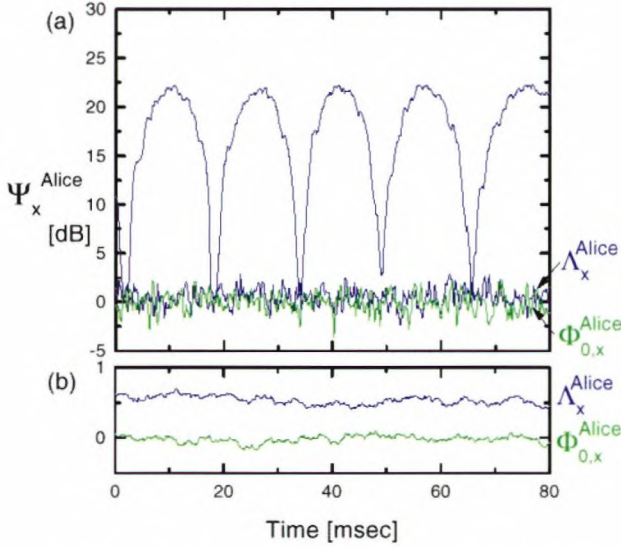
Vores begyndelses tilstand  $i$  vælger vi til at være vakuumtilstanden. Dette valg er baseret på følgende overvejelser: Da vi ikke er i besiddelse af flere ikke lokale kvantetilstande er vi begrænsede til kohærente tilstande. Her er vakuum tilstanden det nærmeste vi kan komme en ikke klassisk tilstand af det elektromagnetiske felt. Vakuum tilstanden er desuden den lettest tilgængelige tilstand, vi råder over. Principielt er der ingen forskel på at teleportere kvante egenskaberne af en kohærent tilstand og vakuum tilstanden, hvorfor sidstnævnte af praktiske årsager vælges her.

## Procedure og resultater

Selve teleportationen udføres efter følgende princip. Først påføres begyndelses tilstanden  $i$  frekvens modulation således at det kan kontrolleres at middel amplituden af tilstanden teleporteres tilfredsstillende. Da modulationen er klassisk, har vi ingen brug for EPR strålerne i denne fase af eksperimentet. Den optiske fase af  $i$  bliver nu scannet lineært og resultatet fra Alice's  $x$  måling kan ses som den oscillerende kurve på figur 4 (a). Heraf ses at fasemodulationen ligger ca. 22 dB over kvantestøj grænsen. Sidstnævnte er markeret



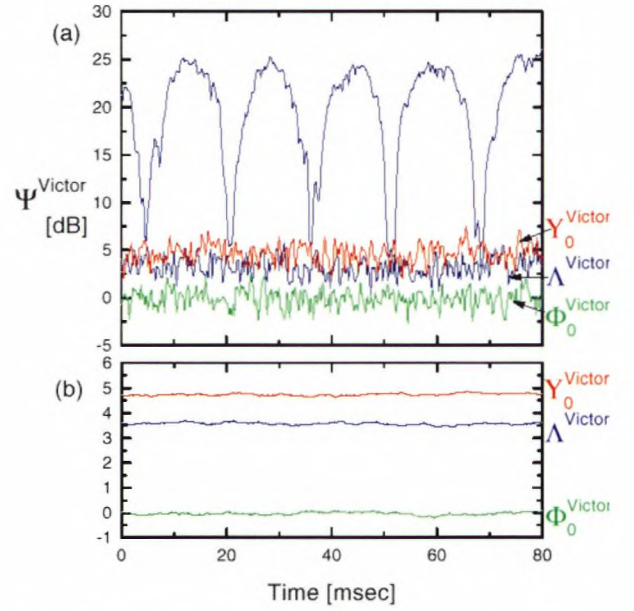
som  $\Phi_{0,x}^{Alice}$ . Det skal bemærkes at Alice's  $x$  detektor kun registrerer halvdelen af støjen fra fasemodulationen, mens  $p$  detektoren ser den anden halvdel. Derfor vil vi forvente at Victor's detektor ser dobbelt så megen støj som en af Alice's detektorer, dvs. ca. 25 dB over kvantestøj grænsen. Den af Victor observerede støj er vist på figur 5. Her ser vi at modulationen netop ligger 25 dB over kvantestøj grænsen markeret ved  $\Phi_{0,x}^{Victor}$  og vi kan derfor slutte at middelamplituden af  $i$  bliver teleporteret tilfredsstillende fra Alice til Bob.



**Figur 4.** Resultatet af Alice's målinger af  $x$ . (a) Den bølgede kurve er resultatet af FM på  $i$ .  $\Phi_{0,x}^{Alice}$  markerer vakuum støj niveauet.  $\Lambda_x^{Alice}$  er Alice's målte støj niveau når kvante teleportationen finder sted. (b) Sidstnævnte to støj niveauer under højere opløsning. Det ses her at Alice's målte støj stiger 0.6 dB i hver kvadratur som følge af at EPR strålerne er tændte. Således opnår Alice mindre information om  $i$  end ved klassisk teleportation, og vi kommer derved ikke i konflikt med Ikke Klonings Teoremet.

Vi laver nu klassisk teleportation, dvs. vores EPR stråler er stadig slukkede. Nu måler Alice netop niveauet  $\Phi_{0,x}^{Alice}$  da hun blot ser kvantestøjen af  $i$ . Victor derimod ser niveauet  $Y_0^{Victor}$ , som befinder sig 4.8 dB over  $\Phi_{0,x}^{Victor}$ . Dette svarer til at Victor observerer 3 gange vakuum støjen, hvilket netop er hvad vi forventer, da vi må betale en pris af 2 enheder vakuum støj når vi teleporterer klassisk. Hertil kommer den ene enhed vakuum støj fra  $i$  så vi i alt ender med 3 gange vakuum støjen.

EPR strålerne aktiveres nu og Alice observerer herved at hendes målte støjniveau stiger 0.6 dB fra  $\Phi_{0,x}^{Alice}$  til  $\Lambda_x^{Alice}$ . Altså opnår Alice nu mindre information om  $i$  end da vi lavede klassisk teleportation. Dette er igen som forventet ifølge Ikke Klonings Teoremet. Victor observerer støjniveauet  $\Lambda^{Victor}$  1.2 dB under  $Y_0^{Victor}$ , svarende til at han nu måler på en tilstand, som ligner  $i$  mere, end da vi lavede klassisk teleportation.

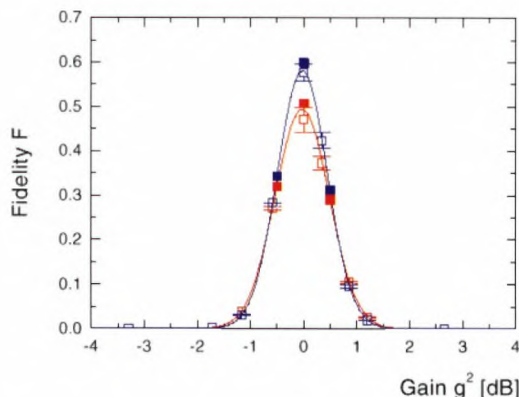


**Figur 5.** Resultatet af Victor's målinger. (a) Den bølgede kurve fremkommer ved klassisk teleportation af FM på  $i$ .  $\Phi_0^{Victor}$  angiver Victor's vakuum støj niveau.  $Y_0^{Victor}$  er støjen, som Victor ser i tilfælde af klassisk teleportation og  $\Lambda^{Victor}$  er støjen i  $o$  når EPR strålerne er tændt. (b) Her ses de sidstnævnte 3 støj niveauer under højere opløsning.  $Y_0^{Victor}$  ligger 4.8 dB over vakuum støj niveauet, svarende til 3 gange så megen støj.  $\Lambda^{Victor}$  ligger under dette niveau svarende til at teleportationen udføres mere effektivt ved EPR strålernes hjælp.

Vi har altså klart vundet i Fidelitet ved at bruge EPR strålerne, men vi har endnu ikke bevis for at vi laver kvante teleportation, altså at samme resultat ikke kan opnås udelukkende ved brug af lokale kvante tilstande. For at dokumentere dette laver vi en række målinger ligesom den herover beskrevne sekvens, men hvor vi varierer forstærkningen i den klassiske kommunikations kanal fra Alice til Bob. Dette gøres fordi vi ikke kan være helt sikre på at vi har valgt den optimale værdi af denne parameter. Fra hver måle sekvens opnår vi et sæt af støj niveauer  $\Phi_{0,x}^{Victor}$ ,  $Y_{0,x}^{Victor}$  og  $\Lambda^{Victor}$  for både  $x$  og  $p$  kvadraturerne. Disse vi kan bruge til at beregne fideliteten af såvel klassisk som kvante teleportation vha. (7), idet vi bruger at  $\delta x_0^2 = \Lambda^{Victor} / \Phi_0^{Victor}$  for kvante teleportation og  $\delta x_0^2 = Y_0^{Victor} / \Phi_0^{Victor}$  for klassisk teleportation. Resultatet er vist på figur 6, hvor den vandrette akse angiver forstærkningen kvadreret og den lodrette akse Fideliteten. Den maksimale værdi for klassisk teleportation findes til  $F_{Klass,eksp} = 0.48 \pm 0.03$ . Dette er tæt på den optimale værdi  $F_{Klass} = 0.5$ , som vi kan opnå uden brug af ikke lokalitet, og vi kan derfor slutte at vores teleportations strategi i klassisk henseende må være næsten optimal. Med EPR strålerne tændt finder vi at Fideliteten vokser til maksimalt  $F_{Kvant,eksp} = 0.58 \pm 0.03$ , hvilket klart ligger over den klassiske grænse. Vi slutter derfor at Bob har re-



produceret  $i$  med en større præcision, end det er muligt at opnå udelukkende ved brug af klassiske midler, og derfor har vi demonstreret kvante teleportation af en tilstand af strålings feltet.



**Figur 6.** Fideliteten afbildet mod kvadratet på forstærkningen normaliseret til den optimale værdi. De røde punkter angiver resultatet for klassisk teleportation og de blå punkter er opnåede ved brug af EPR strålerne. Den maksimale Fidelitet for klassisk teleportation er  $F_{Klass,eksp} = 0.48 \pm 0.03$  og for kvante teleportation  $F_{Kvant,eksp} = 0.58 \pm 0.03$ .

## Diskussion og perspektiver

Teleportationen beskrevet i denne artikel er ikke den første demonstration af processen, men den adskiller sig markant fra tidligere forsøg ved at foregå med høj effektivitet hele tiden. Ydermere optræder Victor her blot som en kontrolperson, som skal karakterisere kvaliteten af vores teleportation. I tidligere forsøg var Victor's rolle af mere fundamental betydning for eksperimentet. Han skulle fuldbyrde teleportationen ved sin måling på  $o$ . Desværre blev den teleporterede kvantetilstand ødelagt ved denne proces, hvorfor man aldrig fik en fri teleporteret tilstand, som senere ville kunne bruges i andre fysiske sammenhænge [8]. Set ud fra dette synspunkt er teleportation af kontinuerte variable, som beskrevet her, mere anvendelig på lang sigt indenfor kvantekommunikation og kvanteberegning.

En naturlig forlængelse af dette eksperiment vil være at teleportere en mere eksotisk tilstand som f.eks. en squeezed state. Denne tilstand er karakteriseret ved at have støj under vakuum grænsen i en kvadratur på bekostning af øget støj i den komplementære kvadratur. For at have støjreduktion i den "stille" kvadratur efter teleportation tilstrækkelig stor til at det samlede støjniveau i kvadraturen ligger under vakuum støj grænsen, er det nødvendigt at have Fideliteten over  $2/3$ . Derfor er en forbedring af ydelsen af vores apparatur altså nødvendig for at kunne realisere dette. En teleporteret tilstand med kvantestøj under vakuum grænsen ville være en god demonstration af sand kvante teleportation, da det er klart, at ingen klassiske midler er i stand til at producere en sådan tilstand.

En endnu stærkere demonstration af kvante tele-

portation ville være at teleportere f.eks. en Fock tilstand eller en Schödingers Kat tilstand [14]. Disse er karakteriserede ved at deres Wigner funktioner er negative nogle steder, hvilket gør dem til sande kvante fænomener ifølge standard definitionen på ikke klassiske tilstande. At bevare negativiteten af Wigner funktionen efter teleportation af disse tilstande stiller endnu større krav til Fideliteten og dermed vores tekniske formåen.

Med henblik på transmission af kvanteinformation og lagring samt bearbejdning af denne er det nærliggende at teleportere atomare kvantetilstande. Det er for nyligt demonstreret hvorledes kvante korrelationer fra ikke klassisk lys kan afbildes på en kollektiv atomar tilstand [15]. Dette muliggør i princippet teleportation af en kollektiv atomar tilstand via laserlys fra et atomart ensemble til et andet. Herved kan eventuel kvanteinformation lagret i en samling atomer flyttes fra en lagerenhed til den næste. Manipulation af denne information kan også vise sig at blive lettere, da lyset involveret i teleportationen formentlig kan præpareres således at man i samme skridt som teleportationen tillige kan udføre kvante logiske operationer. Kohærent manipulation af optiske felter er en veludviklet disciplin, og udførelsen af disse operationer kan derfor vise sig at være nemmere end direkte operationer på atomerne.

## Referencer:

- [1] Se f.eks. [www.m-w.com/cgi-bin/dictionary](http://www.m-w.com/cgi-bin/dictionary).
- [2] For en oversigt se: Physics World, Marts 1998. Specialudgave om Kvantte Information.
- [3] W. K. Wootters og W. H. Zurek, Nature **299**, 802 (1982).
- [4] A. Einstein, B. Podolsky og N. Rosen, Phys. Rev. **47**, 777 (1935).
- [5] N. Bohr, Phys. Rev. **48**, 696 (1935).
- [6] J. S. Bell, Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics. Cambridge Univ. Press 1988.
- [7] A. Aspect, J. Dalibard og G. Roger, Phys. Rev. Lett. **49**, 1804 (1982); G. Weihs, T. Jennewein, C. Simon, H. Weinfurter og A. Zeilinger, Phys. Rev. Lett. **81**, 5039 (1998); W. Tittel, J. Brendel, H. Zbinden og N. Gisin, Phys. Rev. Lett. **81**, 3563 (1998).
- [8] D. Bouwmeester, J-W. Pan, K. Mattle, M. Eibl, H. Weinfurter og A. Zeilinger, Nature **390**, 575 (1997); D. Boschi, S. Branca, F. De Martini, L. Hardy og S. Popescu, Phys. Rev. Lett. **80**, 1121 (1998).



- [9] C. H. Bennett, G. Brassard, C. Crepeau, R. Jozsa, A. Perez og W. K. Wootters, *Phys. Rev. Lett.* **70**, 1895 (1993).
- [10] A. Furusawa, J. L. Sørensen, S. L. Braunstein, C. A. Fuchs, H. J. Kimble og E. S. Polzik, *Science* **282**, 706 (1998); Se også *Science* **282**, 2156 (1998).
- [11] S. L. Braunstein, C. A. Fuchs og H. J. Kimble, Under forberedelse.
- [12] Z. Y. Ou, S. F. Pereira, H. J. Kimble og K. C. Peng, *Phys. Rev. Lett.* **68**, 3663 (1992).
- [13] Z. Y. Ou, S. F. Pereira og H. J. Kimble, *Appl. Phys. B* **55**, 265 (1992).
- [14] Se f.eks. D. F. Walls og G. J. Milburn, *Quantum Optics*, 1st ed. Springer 1994.
- [15] J. Hald, J. L. Sørensen, C. Schori og E. S. Polzik, *Phys. Rev. Lett.* **83**, 1319 (1999).



*Jens Lykke Sørensen* er forskningsadjunkt ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.



*Eugene S. Polzik* er professor ved Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Han modtog tidligere i år på DFS's årsmøde NKT-Forskerprisen 1999 sammen med Klaus Mølmer.

## IAU - udsigt fra broen

*Johannes Andersen, generalsekretær, International Astronomical Union.*

Den maritime overskrift er ment på to måder: Dels konkret - se figur 1, som viser "kommandobroen" på den Internationale Astronomiske Union (IAU)'s sekretariat i Paris. Og dels skal jeg her forsøge kort at give et indtryk af IAU's karakter og aktiviteter, set med generalsekretærens/kaptajnens øjne.

IAU's sekretariat på øverste etage af Institut d'Astrophysique i Paris fylder to kontorer, inkl. det, som er mit 1997-2000. Billedet illustrerer i sig selv det samspil mellem frontforskning og tradition, som giver astronomi meget af sin charme: Foran mig giver vores web-side [1] direkte adgang til kolleger over hele verden; på væggen hænger billeder fra ESO's VLT; og under mig arbejder omkring 100 af Frankrigs bedste astronomer. Gennem døren ved mit skrivebord ser jeg samtidig det gamle Pariserobservatorium, grundlagt under Louis XIV i 1667 - 30 år efter Rundetårn. Deroppe arbejdede Ole Rømer for godt tre sekler siden. Og når man en varm sommerdag sidder på terrassen udenfor og gnaver i et baguette, kan man næsten høre sin gamle kollega gå og brumme på godt århusiansk over,

at Jupiter-månerne ikke opfører sig, som de efter en kommende politimesters mening burde. Trist, at Nobelprisen ikke var opfundet dengang!

Tilbage på kontoret er arbejdet særdeles nutidigt. De fleste internationale unioner er mest samarbejdsorganer mellem videnskabelige selskaber i medlemslandene (66 i IAU). IAU er helt anderledes: Her går kontakten direkte til de 8.200 medlemmer verden over, fordelt på 11 divisioner og 40 kommissioner med hver sit videnskabelige eller organisatoriske speciale. Disse arrangerer et stort årligt program af videnskabelige kongresser, formidler internationalt videnskabeligt samarbejde, driver uddannelsesvirksomhed i udviklingslande, giver navne til nyopdagede kometer, småplaneter og anden geografi i solsystemet, samt forsøger at advare mod de miljøproblemer, der truer astronomien på længere sigt. Generalsekretærens opgaver består derfor ikke i lidt brevskriveri på hjørnet af det hjemlige skrivebord, men ligner mere en administrerende direktørs i en blandet landhandel med to ansatte, 8.000 kunder over hele verden og fuld garanti mod overskud på budgettet.



## Lidt historie

IAU blev oprettet i 1919 sammen med de tilsvarende unioner for fysik, kemi m.fl. under et regime, hvor taberne i 1. verdenskrig blev holdt strengt udenfor, og neutrale lande som Danmark og Holland kun blev sluppet ind under megen skepsis. Astronomerne gjorde hurtigt oprør, og når man nu ikke kunne få lov at tage Tyskland ind, inviterede man i stedet de tyske kolleger enkeltvis – oprindelsen til den "spejderånd", der stadig råder i IAU. Den danske Prof. Elis Strömgren spillede som præsident i det tyske Astronomische Gesellschaft en vigtig rolle i denne proces.

Denne tradition og astronomiens harmløse natur tillod også IAU i 1979 at blive den første union, som forhandlede en aftale, hvorefter kinesiske kolleger fra både fastlandet og Taiwan kunne deltage på lige fod i en international union. IAU er stadig karakteriseret ved et fåtal af formelt nedskrevne regler, og selv dem ignorerer man gerne, hvis det i en given situation tjener astronomien bedst. Det giver en generalsekretær vidt spillerum til nye initiativer, men også nogle sommerfugle i maven, når man erindrer rækken af fremragende forgængere, herunder danskerne Bengt Strömgren og Richard West.

## Videnskaben

De videnskabelige aktiviteter er det centrale i IAUs liv. Divisioner, kommissioner og et utal af arbejdsgrupper organiserer internationalt samarbejde indenfor alle områder af astronomien. Blandt aktuelle opgaver kan nævnes den centrale arkivering og identifikation af observationer samt baneberegning for de nærgående småplaneter, der opdages med stigende hast. IAU sponsorerer også et dusin videnskabelige kongresser om året; rejsestøtte til at sikre en bred international deltagerkare er den største post på de årlige budgetter. Ved generalforsamlingerne, der afholdes hvert tredje år (næste gang i Manchester i august 2000), ordnes naturligvis vagtskiftet i IAUs ledelse og andre administrative sager, men hovedretten er et alsidigt videnskabeligt program – i 1997 omfattende over 800 foredrag og 1100 posters.

## Uddannelsen

Den svigtende tilgang til naturvidenskab er ikke blot et dansk fænomen, men kendes verden over, også i udviklingslandene, hvor behovet for teknisk og videnskabeligt uddannede folk er endnu større og kapaciteten endnu mindre end i den industrialiserede verden. Astronomi har her en særlig værdi ved at fange unge menneskers interesse og dermed bidrage til den "fødekæde", hvis slutprodukt er alsidigt anvendelige naturvidenskabelige og/eller tekniske kandidater.

IAU bidrager her med et langsigtet støtteprogram, baseret på mangeårige internationale erfaringer. Det rækker fra uddannelse af gymnasielærere i lande, der starter på helt bar bund (Vietnam), over kurser på bachelor- og kandidatniveau på universiteterne

(Mellemamerika, Marokko) og intensive 3-ugers kurser for kandidat- og Ph.D.-studerende (sidst Iran og Rumænien), til støtte til udvekslingsrejser for videnskabeligt isolerede postdocs og seniore forskere. Et spændende perspektiv er et helt nyt samarbejde med FN, som er ved at oprette regionale uddannelsescentre for rumforskning og -teknologi; aftalerne herom indeholder den bemærkelsesværdige klausul, at de deltagende lande forpligter sig til faktisk at anvende kandidaterne ved at give dem jobs og rimelige arbejdsbetingelser bagefter(!).

## Amatørdiplomatiet

Astronomer i de mange lande med økonomiske eller værre problemer har et enormt behov for hjælp. Med et samlet budget på ca. 3 Mkr/år kan IAU ikke gøre meget selv. Men f.eks. i lande, hvor ens titel fremmaner billeder af folk som Stalin eller Khrustjov, kan ens blotte tilstedeværelse være gavnlig. Det oplevede jeg sidste år i Uzbekistan, hjemlandet for Timur Lenk, som på 20 år i slutningen af 1300-tallet underlagde sig hele Asien fra Bosporus til Delhi. Hans sønnesøn Ulugh Beg byggede et berømt observatorium i Samarkand; men hans astronomiske interesser viste efter familiens mening, at han var så forstyrret i hovedet, at man besluttede at hugge det af.

Senere blev bjerget Maidanak i landet centrum for udviklingen af optisk astronomi i Sovjetunionen, indtil dennes opløsning fik endnu en guillotine til at falde, denne gang over økonomien. Nu forsøger dygtige astronomer at overleve på 100 kr om måneden og lave forskning med kikkerter, som de ikke har råd at udruste og drive. En kombination af blanke sko på de røde løbere, stegt fårefedt og vodka i kollegers lag i de faldefærdige rønner på observatoriet, samt et moderne CCD-kamera bygget i København kan måske her bidrage til at give i det mindste ét internationalt samarbejde et lille skub fremad [2].

## Offentligheden og pressen

Visse af IAUs aktiviteter medfører kontakt med offentligheden og pressen, sommetider tilsigtet, iblandt højst overraskende. Til de første hører den systematiske kampagne vi prøver at opbygge for at undgå, at lysforurening, radiostøj, rumskrot, "rumkunst" og på længere sigt reklamer i rummet helt skal drukne de svage signaler, som ellers nåede næsten helt frem til os. Til de sidste hører den senere tids ståhej om de fund af jordstreffende småplaneter, der annonceres af IAUs Minor Planet Center, og en ligeså ophidset som grundløs debat om, hvorvidt IAU var ved at "degradere" stakkels Pluto fra dens værdighed som planet.

Om hvert emne kunne skrives en artikel længere end denne, men deres fællestræk er at involvere store politiske og økonomiske interesser, både offentlige og private, samt et antal farverige personligheder. I dem alle kan og skal IAU arbejde for rimelige løsninger





**Figur 1.** IAU generalsekretærens kontor. Gennem døren ses det gamle Paris-observatorium.



**Figur 2.** Forfatteren i diplomatforklædning sammen med to uzbekiske kolleger foran resterne af den nedre del af indgangen(!) til Timur Lenks palads i byen Shakri-Sabz.



**Figur 3.** Samme dag som figur 2: Et blandet russisk-ukrainsk-uzbekisk-dansk selskab i arbejdstøj på Maidanak-observatoriet.

på internationalt plan, men vel at mærke uden at råde over konventionelle økonomiske, formelle eller reelle magtmidler, blot videnskabelige fakta og rimelige argumenter.

Fællesnævneren for de opgaver, der kort er skitseret ovenfor, er udfordringen i at forsøge at ændre den langsigtede udvikling mod det bedre med IAUs ry for saglighed som vigtigste værktøj. Når man efter tre år afleverer værktøjet til efterfølgeren, skulle det gerne være i lidt bedre stand end før. Set fra broen er det såmænd ikke fundamentalt forskelligt fra meningen med at være på et universitet.

## Referencer:

[1] IAU, [www.iau.org](http://www.iau.org).

[2] The Maidanak Foundation, [www.maidanak.org](http://www.maidanak.org).



*Johannes Andersen* er lektor ved Astronomisk Observatorium, NBIfAFG. Han interesserer sig for stjerners og galakser udvikling, især Mælkevejssystemets, samt for instrument- og detektorudvikling og internationale samarbejdsorganisationer.

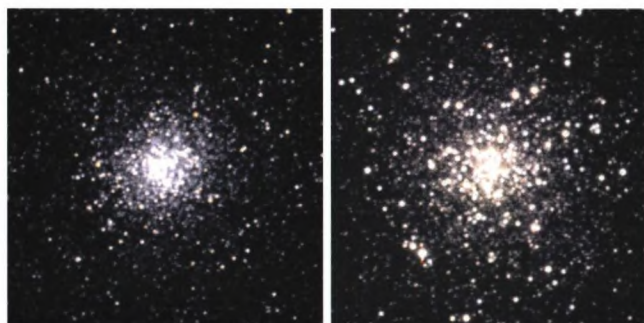


# Dannelse af unge kuglehobe i andre galakser

Søren S. Larsen, Astronomisk Observatorium, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.

Når man ser op på nattehimlen kan man godt få det indtryk at stjernerne er fordelt mere eller mindre jævnt i vores Galakse, og som hovedregel optræder enkeltvis. Dette er dog ingenlunde tilfældet: Mindst halvdelen af alle stjerner er medlemmer af *dobbeltstjernesystemer* hvor to eller flere stjerner kredser om hinanden, på samme måde som planeterne i solsystemet kredser om Solen. Men der er også en tendens til at stjerner klumper sig sammen i endnu større grupper, som vi benævner *stjernehobe*. I vores egen galakse findes der groft sagt to typer af stjernehobe: *åbne hobe*, som typisk indeholder 100 – 1000 stjerner, og *kuglehobe* som rummer  $10^5$  –  $10^6$  stjerner.

Plejaderne, som kan ses med det blotte øje, og udgør et smukt syn i en almindelig håndkikkert, er et typisk eksempel på en åben hob. En af de bedste kuglehobe på den nordlige halvkugle er M13 i stjernebilledet Hercules, som under gode betingelser netop kan skimtes med det blotte øje. Hvis man begiver sig sydpå vil man kunne se de to kuglehobe  $\omega$  Centauri og 47 Tucanae, som begge er klart synlige uden hjælpemidler, og som i et mindre teleskop opløses i tusindvis af enkeltstjerner.



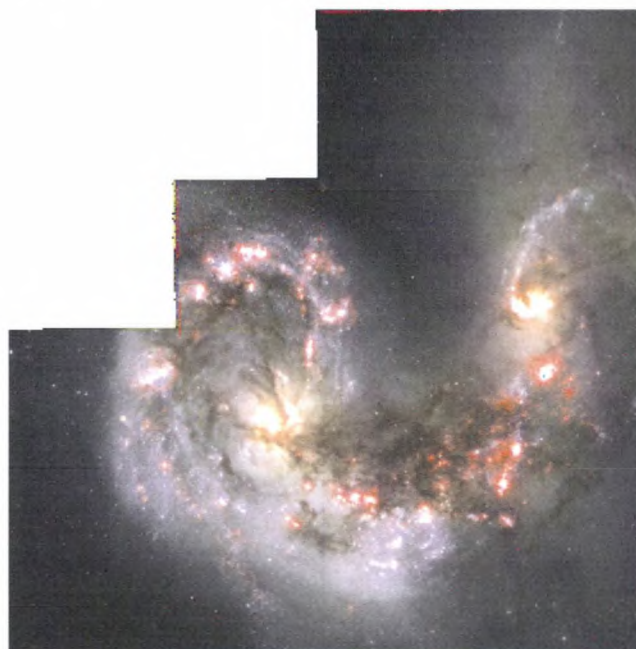
**Figur 1.** Til venstre: Den unge kugleformede stjernebob NGC 1866 i den Store Magellanske Sky. Til højre: En kuglebob i Mælkevejen (NGC 2298). NGC 1866's blå farve skyldes bobens lave alder, ca.  $10^8$  år. Billederne er taget af forfatteren med det danske 1.54 meter teleskop på La Silla, Chile.

De fleste åbne hobe er forholdsvis unge objekter med aldre på op til nogle få 100 millioner år, som primært findes i Mælkevejens skive hvor stjernedannelse finder sted. Grunden til at man ikke ser ret mange åbne hobe ældre end ca. 1 milliard år er formodentlig at de går i opløsning på deres tur rundt blandt de andre objekter i skiven. De få åbne hobe med højere aldre findes alle i stor afstand fra Mælkevejens centrum, hvor de destruktive kræfter er mindst. Mange af de stjerner der i dag ses som enkeltstjerner kan altså meget vel tænkes at have været medlemmer af en åben hob tidligere i deres liv, og studier af stjernedannende områder viser at praktisk talt alle stjerner fødes i stjernehobe. Mange af disse

hobe er dog ikke gravitationelt bundne og går hurtigt i opløsning, hvorimod andre altså er i stand til at overleve i længere tid.

I modsætning til de åbne hobe er kuglebobene alle meget gamle, med aldre på 10 – 15 milliarder år. Dermed var de blandt de første objekter som blev dannet i Mælkevejen, hvilket også ses af at de befinder sig i Mælkevejens *halo* som man regner med blev dannet før skiven. Harlow Shapley bemærkede allerede i 1918 [1] at kuglebobene ikke er jævnt fordelt på himlen. Specielt i retning mod stjernebilledet Sagittarius findes der mange kuglehobe, og ud fra en antagelse om at kuglebobene er symmetrisk fordelt omkring Mælkevejens centrum konkluderede Shapley at centret må befinde sig i den retning hvor tætheden af kuglehobe er størst, altså i Sagittarius. Han bestemte endda afstanden til centret til ca. 13 kpc (1 kpc = 1000 pc = ca. 3260 lysår), lidt større end den moderne værdi på omkring 8.5 kpc, men dog ganske godt ramt.

Shapley var således en af de første til at betragte kuglebobene som et samlet system, og ud fra egen-skaberne af dette system konkludere noget om den større sammenhæng som systemet var en del af – i dette tilfælde Mælkevejen. Derved blev årtiers omhyggelige studier af individuelle hobe sat ind i en større sammenhæng.



**Figur 2.** Billede fra Hubble Space Telescope af "Antenne-galaksen", NGC 4038/39. Der er tale om to kolliderende galakser med intens stjernedannelse. På dette billede er der identificeret mere end 1000 unge kuglehobe.



## Kuglehobe i andre galakser

Siden forrige århundrede har det været kendt at vores nærmeste naboer, de Magellanske Skyer, indeholder et stort antal stjernehober, hvoraf de rigeste umiddelbart minder om de kuglehobe vi kender fra Mælkevejen. Det første systematiske studium af kuglehobe i andre galakser blev dog udført af Edwin Hubble, som i 1932 [2] publicerede observationer af 140 kuglehobe i Andromedagalaksen, M31. Med indførelsen af CCD detektorer i 1980'erne blev det muligt at observere kuglehobe i galakser uden for den lokale gruppe, og i dag findes der observationer af kuglehobe i mere end 100 galakser. I de fleste tilfælde er der tale om elliptiske galakser, hvilket primært skyldes at det teknisk set er enklere at detektere kuglehobe i elliptiske galakser, som på grund af deres forholdsvis simple struktur at lettere at "trække fra" billedet.

For at måle hvor mange kuglehobe en galakse indeholder definerer man den *specifikke hyppighed*  $S_N$ :

$$S_N = N_{GC} 10^{-0.4(M_V^T + 15)} \quad (1)$$

hvor  $N_{GC}$  er det totale antal kuglehobe og  $M_V^T$  er galaksens absolutte visuelle størrelsesklasse [3]. Størrelsesklasser er en logaritmisk enhed, hvor en forskel på 5 størrelsesklasser svarer til en faktor 100 i lysstyrke. Den *absolutte* størrelsesklasse angiver, hvilken størrelsesklasse et givent objekt ville have hvis det blev anbragt i en afstand på 10 parsec.  $S_N$  er altså et mål for hvor mange kuglehobe en galakse indeholder, normaliseret til galaksens lysstyrke. Derved er der taget højde for at ikke alle galakser er lige klare.

Det har vist sig at elliptiske galakser ofte indeholder langt flere kuglehobe end Mælkevejen og andre spiralgalakser. Spiraler har typisk en  $S_N$  værdi på omkring 2, hvorimod mange elliptiske galakser har  $S_N = 5$  eller mere. De såkaldte cD galakser, som findes i centret af rige galaksehobe, har ofte ekstremt mange kuglehobe, med  $S_N = 15 - 20$ . Man har endnu ikke fundet nogen overbevisende forklaring på denne forskel.

Kuglehobene i de elliptiske galakser og i M31 minder så vidt man kan se om kuglehobene i Mælkevejen. Specielt har det vist sig at *luminositetsfordelingen* af kuglehobe omkring en galakse altid er den samme. Hvis man laver et histogram over de absolutte visuelle størrelsesklasser ( $M_V$ ) for alle kuglehobe omkring en galakse, kan det altid tilnærmes af en Gauss-funktion med maksimum ved  $M_V = -7.2$  og en spredning på  $\sigma_v \sim 1.2$  [4]. Der er dog ikke nogen speciel fysisk grund til netop at vælge en Gauss funktion, og der findes andre analytiske funktioner der kan fitte luminositetsfordelingen ligeså godt.

Men hovedsagen er, at fordelingen altid er den samme. Dette er specielt svært at forstå, set i lyset af at den specifikke hyppighed  $S_N$  varierer så kraftigt. Disse to forhold udgør tilsammen et af hovedproblemerne indenfor forskningen i kuglehobe i andre galakser.

## Unge kuglehobe?

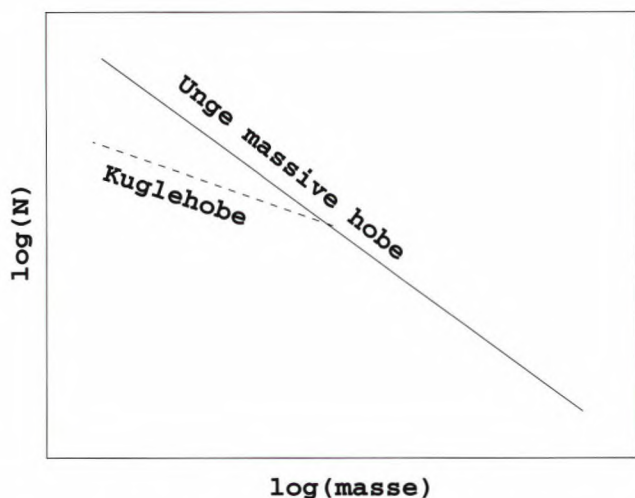
Allerede fra starten havde man mistanke om at der var noget mystisk ved kuglehobene i de Magellanske Skyer: I modsætning til kuglehobe i Mælkevejen, som alle er domineret af lyset fra udviklede, røde kæmpestjerner og derfor som helhed betragtet også er røde, er mange af de kugleformede stjernehober især den Store Magellanske Sky (LMC, Large Magellanic Cloud) *blå*. Forskellen ses tydeligt på figur 1, som viser farvebilleder af en af de største hobe i LMC, NGC 1866 og en kuglebob i Mælkevejen, NGC 2298. I 1960'erne fik man efterhånden en bedre teoretisk forståelse af stjerners opbygning og udvikling, og ved at sammenligne teoretiske stjernemodeller med observationer af de blå hobe i LMC blev det klart at de "blå kuglehobe" er meget unge objekter. NGC 1866 har en alder på omkring 100 millioner år, altså svarende til en typisk åben hob i Mælkevejen, og der findes lignende, endnu yngre objekter.

Med en absolut visuel størrelsesklasse på ca.  $-9$  er NGC 1866 klarere end de fleste kuglehobe i Mælkevejen. Man skal dog huske på at stjernehober med tiden falmer, idet de massive, lysstærke stjerner som giver de unge hobe deres blå farve, efterhånden forsvinder. Derfor kan man ikke umiddelbart omregne en forskel i lysstyrke til en masseforskel, uden også at kende aldersforskellen. NGC 1866 vil formodentlig falme med ca. 3 størrelsesklasser i løbet af de næste  $10^{10}$  år, og vil altså til den tid have en absolut visuel størrelsesklasse  $M_V \sim -6$ , hvilket stadig er sammenligneligt med mange kuglehobe i Mælkevejen. Dermed er det også klart at NGC 1866 (og tilsvarende hobe i andre galakser) er ligeså tunge eller "massive" som kuglehobe i Mælkevejen, og derfor kaldes de også ofte for "unge massive hobe".

Op gennem 1990'erne har Hubble Rumteleskopet (HST) opdaget lignende unge massive hobe i adskillige andre galakser. Et af de mest berømte eksempler er "Antennen", som i virkeligheden består af to kolliderende galakser (figur 2). Der foregår intens stjernedannelse i Antennen, og HST observationerne har afsløret mere end 1000 unge massive hobe med aldre på 10 – 100 millioner år [5]. HST har også observeret andre kolliderende galakser, og der er fundet unge massive hobe i dem *allesammen*, ofte så klare som  $M_V = -13$  eller klarere. Derudover har HST også fundet unge massive hobe i andre "starburst" galakser som f.eks. M82 og visse dværggalakser, alle med kraftig stjernedannelsesaktivitet. Så det ser ud til at unge kuglehobe dannes overalt hvor der er intens stjernedannelse.

De Magellanske Skyer er dog ikke deciderede "starburst" galakser, og man kender også nogle få andre eksempler på relativt "normale" galakser med unge kuglehobe, bl.a. M33 som kun er lidt længere væk end Andromedagalaksen og altså også tilhører den lokale gruppe.





**Figur 3.** Skematisk fremstilling af massefordelingen for gamle kuglehobe og unge massive hobe.

Det er endnu uafklaret hvilken sammenhæng der er mellem “rigtige” kuglehobe som dem vi kender fra Mælkevejen, og de unge massive hobe i LMC, M33 og i kolliderende galakser. Specielt har det været fremhævet at luminositetsfordelingen for de unge hobe ikke er den samme som for gamle kuglehobe: Luminositetsfordelingen for unge hobe kan beskrives som en simpel potensfunktion

$$N(L)dL \propto L^{-\alpha}dL \quad (2)$$

hvor  $L$  er lysstyrken, her i lineære enheder, og  $\alpha$  typisk har en værdi på ca.  $-2$ . Luminositetsfordelingen for gamle kuglehobe klarere end  $M_V \sim -7.2$  kan i lineære enheder repræsenteres ved en lignende potensfunktion, hvorimod den svagere del af luminositetsfordelingen for gamle kuglehobe kan fittes af en potensfunktion med  $\alpha \sim 1$ . Hvis de unge hobes lysstyrke aftager med 3–4 størrelsesklasser i de næste  $10^{10}$  år, skulle dette “turn-over” altså i dag findes ved  $M_V \sim -10$ , men det er *ikke* blevet observeret. Sagt på en anden måde er der for mange af de mindste unge hobe, i forhold til hvad man ville forvente hvis de virkelig skulle udvikle sig til kuglehobe med den samme luminositetsfordeling som man idag observerer i Mælkevejen og andre galakser. Imidlertid kan man sagtens forestille sig at de mindste hobe lettere går i opløsning end de mere massive, som er gravitationelt tættere bunde. På den anden side virker det usandsynligt at destruktoren af lav-masse hobe har virket med samme effektivitet i de mange forskellige galakser hvor man idag har observationer af kuglehobe. Teoretiske beregninger af, hvordan en stjernebob udvikler sig dynamisk, er uhyre vanskelige, idet man skal simulere  $10^5 - 10^6$  testpartikler over en periode på  $10^{10}$  år, og tage hensyn til mange forskellige effekter som f.eks. stjerneudvikling, eksterne gravitationspåvirkninger og dannelse/opløsning af dobbeltstjernesystemer.

### Unge kuglehobe i spiralgalakser

I sidste ende bliver det kun en strid om ord, hvorvidt unge massive hobe virkelig er nydannede udgaver af “rigtige” kuglehobe. Betragtet enkeltvis adskiller de sig kun ved deres alder, og der er god grund til at håbe på at vi kan lære en hel masse om dannelsen af kuglehobe ved at studere disse unge, massive hobe.

Et af de mest påtrængende spørgsmål er, hvorfor visse “normale” galakser som f.eks. LMC og M33, indeholder unge massive hobe medens andre (f.eks. Mælkevejen og M31) ikke gør. Det har været foreslået at der er en sammenhæng med den *morphologiske* type, dvs. med spiralstrukturen [6], dog uden nogen egentlig fysisk begrundelse.

Der har indtil nu kun været få systematiske studier af stjernebob i andre “normale” galakser, når man ser bort fra de mange observationer af kuglehobe i elliptiske galakser. Spiralgalakser er vanskeligere at have med at gøre pga. deres komplicerede struktur og tilstedeværelsen af mange forskellige objekter som kan forveksles med stjernebob, bl.a. individuelle, lysstærke stjerner og såkaldte “HII regioner” (områder med nydannede stjerner som stadig er indhyllet i den gas hvorfra de er dannet).

For at lære noget mere om unge massive hobe startede jeg for tre år siden på et projekt som gik ud på at lede efter unge massive hobe i et antal nære spiralgalakser. Observationerne er udført dels med det danske 1.54 meter teleskop på ESO’s observatorium på La Silla, Chile, og dels med det Nordisk Optiske Teleskop (NOT) på La Palma. I alt blev der observeret 21 nære spiralgalakser, udvalgt således at de alle var mere eller mindre “face-on”, dvs. set “ovenfra”. Da vi forventede at unge massive hobe ville findes i galaksernes skiver, skulle problemer med absorption på denne måde blive mindst mulige. Observationerne og datareduktionen er beskrevet i detaljer i en serie artikler i *Astronomy & Astrophysics* [7–8], og jeg skal her kun fremhæve hovedresultaterne.

Grundet vore udvælgelseskriterier har vi en øvre aldersgrænse på omkring 500 millioner år for de hobe vi har detekteret. Samtidig er der en nedre grænse for massen på omkring  $10^4 M_\odot$ , hvilket er tungere end de mest massive, åbne hobe i Mælkevejen. Objekter som f.eks. NGC 1866 ville derimod blive inkluderet i vores undersøgelse.

I lighed med den “specifikke hyppighed”  $S_N$  har vi defineret en tilsvarende størrelse  $T_N$  for de unge hobe. Her er det værd at understrege, at medens en galakse altid indeholder et veldefineret antal gamle kuglehobe, afhænger antallet af *unge* hobe af den nedre detektionsgrænse, og det er derfor væsentligt at specificere hvordan man har udvalgt de unge hobe. Dette problem kan man delvist undgå ved i stedet at operere med den specifikke *luminositet*

$$T_L = 100 \frac{L_{\text{hobe}}}{L_{\text{galakse}}} \quad (3)$$



Photonics is transforming the world we live in.

It is our commitment to provide photonics tools  
that bring your ideas to light.

# the Practical Application of Light

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

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

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

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

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

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

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

**Denmark**  
Stenagervej 13  
DK-4100 Ringsted, Denmark  
Tel: 5761 5049 • FAX: 5761 6049  
E-mail: dk\_mellesgriot@csi.com

**Sweden**  
(Serving Sweden, Norway, Finland, Iceland &  
The Baltic States)  
Box 7071, Måttbandsvägen 12  
S-187 12 Täby, Sweden  
Tel: (08) 6308950 • FAX: (08) 6300745  
E-mail: info.nordic@mellesgriot.com

**Photonics**  
is emerging as an important  
technology for the future.  
Melles Griot supplies the elements  
used to **create, transform, and**  
**detect** light for applications  
as diverse as biotechnology,  
telecommunications, entertainment,  
and reprographics.

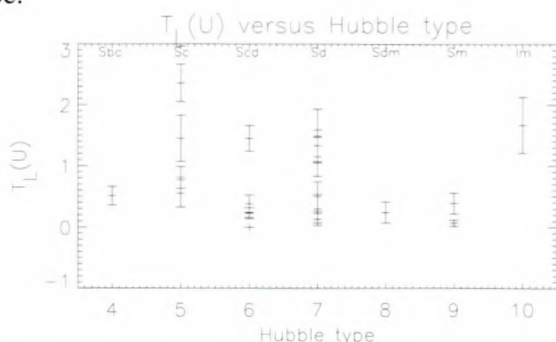


## MELLES GRIOT

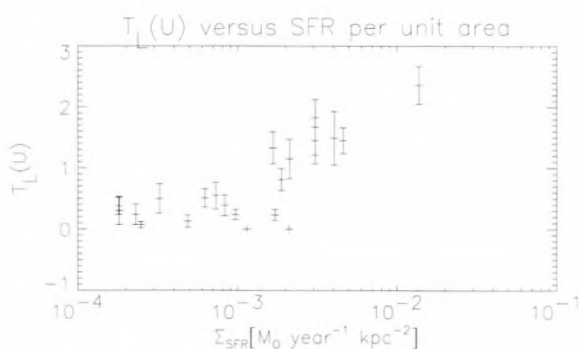
[www.mellesgriot.com](http://www.mellesgriot.com)



hvor  $L_{\text{hobe}}$  og  $L_{\text{galakse}}$  er den samlede lysstyrke af hobe og af værtsgalaksen.  $T_L$  angiver altså, hvor meget lys vi modtager fra de unge hobe i en galakse, relativt til galaksen selv. Så længe eksponenten  $\alpha$  i luminositetsfunktionen (2) er mindre end 2, stammer det meste af lyset fra de mest massive hobe, og det betyder derfor ikke så meget hvis man mangler nogle af de svagere hobe.



**Figur 4.** Den specifikke luminositet  $T_L$  som funktion af morfologisk type. Spiralstrukturen bliver gradvis mere "åben" fra Sbc – Sdm, og går til sidst helt i opløsning for de irregulære galakser (Sm og Im).



**Figur 5.** Den specifikke luminositet  $T_L$  som funktion af stjernedannelsesraten per areal enhed ( $\Sigma_{\text{SFR}}$ ).

Først og fremmest fandt vi en stor variation i  $T_L$  fra galakse til galakse. Nogle galakser indeholdt altså et stort antal unge massive hobe, medens andre ikke gjorde. I figur 4 er  $T_L$  vist som funktion af den morfologiske type, og som det ses er der ikke nogen særligt tydelig sammenhæng. Fremfor alt er der en stor spredning i  $T_L$  ved enhver given type.

Derimod viste det sig, at  $T_L$  korrelerer kraftigt med stjernedannelsesraten  $\Sigma_{\text{SFR}}$  i galakserne (figur 5), dvs. hvor mange stjerner der dannes per år.  $\Sigma_{\text{SFR}}$  er bestemt ud fra den infrarøde lysstyrke af galakserne, som er en god indikator for stjernedannelsesaktivitet idet kraftig stjernedannelse fører til opvarmning af støvet i en galakse, der så udsender infrarød stråling. De infrarøde lysstyrker er målt af IRAS satellitten. For at opnå uafhængighed af både afstand og absolut størrelse er  $\Sigma_{\text{SFR}}$  desuden normaliseret til arealet af galaksernes skiver.

Umiddelbart virker sammenhængen mellem  $T_L$  og  $\Sigma_{\text{SFR}}$  måske ikke som et overraskende resultat: Jo flere stjerner der dannes, desto flere massive stjerne-

hobe dannes der også. Her er det imidlertid vigtigt at huske på, at galakserne selv også vil blive klarere når der forgår kraftig stjernedannelse, så en høj  $T_L$  værdi i galakser med en høj  $\Sigma_{\text{SFR}}$  betyder at der dannes flere hobe relativt til antallet af stjerner. I de 21 galakser, vi har observeret, varierer  $T_L$  i intervallet 0.1 – 2 (se f.eks. figur 5), hvorimod galakser med virkelig kraftig stjernedannelse som f.eks. Antennen har  $T_L$  værdier på måske 10 – 20.

Med vores nuværende observationer kan vi ikke svare på, om de aktivt stjernedannende galakser generelt indeholder mange stjernehobe, eller om de blot danner forholdsvis mange massive hobe hvorimod antallet af lav-masse hobe svarer til det, der ses i f.eks. Mælkevejen. Med andre ord har vi ikke tilstrækkeligt kendskab til luminositetsfordelingen af hobe i de galakser, vi har observeret – er det en simpel potensfunktion af samme form som (2), eller er der en fysisk betinget øvre grænse for, hvor massive hobe en given galakse kan danne? For at besvare disse spørgsmål kræves mere detaljerede observationer end vi har haft mulighed for at lave hidtil, f.eks. med det nye *Very Large Telescope* eller med Hubble Rumteleskopet, således at man også vil kunne detektere de mindre hobe.

Noget kunne dog tyde på at der måske er en øvre grænse, og at denne grænse varierer fra galakse til galakse: I Mælkevejen findes der stort set ingen åbne hobe tungere end ca.  $10^4 M_{\odot}$  [9], selv om man statistisk set ville forvente en del hobe med noget højere masser hvis luminositetsfordelingen ikke havde nogen fysisk øvre grænse. I de Magellanske Skyer findes som allerede nævnt betydeligt tungere unge hobe, og i en af de rigeste galakser vi har observeret (M83) ser det ud til at der er en øvre grænse omkring  $2 \times 10^5 M_{\odot}$ .

## Dannelse af stjernehobe

Hvad fortæller alt dette så om fysikken bag dannelse af stjernehobe, og om dannelsen af "rigtige" kuglehobe?

Der er meget lang vej igen, før dannelsen af stjernehobe kan siges at være velforstået. Indtil videre er der problemer nok med at forstå hvordan enkeltstjerner dannes, specielt de meget massive stjerner som udvikler sig hurtigt og påvirker deres omgivelser kraftigt, ikke mindst ved at eksplodere som supernovaer.

Det virker dog rimeligt at antage, at en stjernehob dannes ved at en tilpas stor mængde gas samles og begynder at trække sig sammen. Efterhånden vil tætheden i gasskyen vokse, og på et tidspunkt begynder der at dannes stjerner. Mælkevejen er det eneste sted, hvor vi kan studere denne proces i en vis grad af detalje. Her foregår det meste stjernedannelse i såkaldte GMC'er (kæmpemolekylskyer eller *Giant Molecular Clouds*), som primært findes i Mælkevejens spiralarme. GMC'er har typiske masser på  $10^5 M_{\odot}$  og udstrækninger på ca. 50 pc, svarende til en middeltæthed på ca. 50 molekyler pr.  $\text{cm}^3$ . Strukturen af GMC'er er dog meget inhomogen, og en stor del af deres masse er samlet i klumper



og kerner med tætheder på  $10^3 - 10^5 \text{ cm}^{-3}$  eller mere. Det er i de tætteste dele af disse kerner, stjernedannelsen foregår.

For at få dannet en stjernebob, kræves der altså at en tilpas stor mængde gas samles, og opnår en tæthed på ca.  $10^5 \text{ cm}^{-3}$ . Man kan vise, at mindst 30 – 40% af gassen må omdannes til stjerner, idet hoben ellers ikke vil være gravitationelt bundet når den overskydende gas og det dertil hørende gravitationspotentiale blæses væk af de nydannede stjerner. For at opnå en tilstrækkelig høj stjernedannelseseffektivitet må stjernedannelsen foregå så hurtigt at stort set al gassen er blevet til stjerner inden de første massive stjerner eksploderer som supernovaer efter nogle få millioner år. For mindre hobe (mindre end ca.  $1000 M_\odot$ ) hjælper det dog noget, at de statistisk set ikke vil danne stjerner som er massive nok til at gå af som supernovaer.

Man kan formode at massefordelingen af åbne hobe er snævert forbundet med massefordelingen af GMC'er. I Mælkevejen findes der kun meget få GMC'er tungere end  $10^6 M_\odot$ , og hvor massespektret under denne grænse følger en potensfunktion svarende til (2), falder det eksponentielt af over  $10^6 M_\odot$ . De hobe som dannes i GMC'er i Mælkevejen udgør normalt under 1% af GMC'ens totale masse, hvilket svarer nogenlunde til den observerede øvre grænse for massen af åbne hobe.

Vi er nu tilbage ved spørgsmålet om, hvorfor visse galakser danner langt mere massive stjernebob end Mælkevejen. Foregår stjernedannelsen i disse galakser mere effektivt, således at en hel GMC kan kontrahere til den nødvendige tæthed og danne en massiv stjernebob, eller er GMC'er simpelthen større i visse galakser, således at de dannede hobe også her udgør en relativt lille brøkdel af den totale masse i en GMC? Og hvilke grundlæggende egenskaber ved en galakse forårsager overhovedet denne forskel?

Man har i mange år vidst, at der er en sammenhæng mellem *gastætheden* i en galakse og dens stjernedannelsesrate. Dette er den såkaldte *Schmidt-lov* [10], som siger at stjernedannelsesraten ( $\Sigma_{\text{SFR}}$ ) følger *gastætheden* (f.eks. i solmasser per  $\text{pc}^2$ ) i en potens  $N$ :

$$\Sigma_{\text{SFR}} \propto \Sigma_{\text{gas}}^N \quad (4)$$

hvor  $N$  har en værdi på ca. 1.4 [11]. Når *gastætheden* vokser, stiger stjernedannelsesraten altså også, men hurtigere end *gastætheden* selv.

Dette resultat giver måske også et hint til, hvorfor galakser med en høj stjernedannelsesrate danner mere massive stjernebob: Den højere *gastæthed* gør det lettere at samle de store mængder gas, som er nødvendige for at danne massive hobe. Faktisk har man i visse galakser med en høj stjernedannelsesrate (bl.a. M83 og M51) observeret molekylskyer med masser på op til  $6 \times 10^7 M_\odot$ , såkaldte GMA'er ("Giant Molecular Associations"), som måske kunne være kandidater til fødesteder for unge massive hobe. Det er blevet foreslået at de gamle kuglehobe i Mælkeve-

jen og andre galakser dannedes i lignende "super-GMC'er" [12]. Disse super-GMC'er kunne være identiske med de såkaldte "Searle-Zinn" fragmenter, som iflg. visse teorier udgjorde de oprindelige byggeklodser som dannede galakserne.

Bortset fra at en høj *gastæthed* i sig selv kan tænkes at gøre det lettere at samle store mængder gas, mangler vi stadig en forklaring på, hvordan stjernedannelsen kan foregå tilstrækkelig effektivt til at danne en bunden hob med en masse på  $10^5 M_\odot$ . Der er teoretiske argumenter for, at en af de nødvendige betingelser for at danne en massiv, bunden hob er et højt *tryk* [13]: Et tilstrækkeligt højt tryk kan holde sammen på skyen, også efter at de første stjerner er blevet dannet, således at stjernedannelsen kan fortsætte og opnå den nødvendige høje effektivitet. En høj tæthed vil automatisk give et højt tryk, og den kraftigere stjernedannelse vil hæve temperaturen og dermed yderligere bidrage til et højt tryk i det interstellare medium. Dermed vil der være bedre betingelser for at få samlet store mængder gas ved en høj tæthed og danne massive hobe.

Endelig er det også muligt at stjernedannelse påvirker gasskyerne mere direkte via supernovaekspllosioner og "vinde" fra nydannede stjerner som sender chokbølger ud gennem det interstellare medium og hjælper med at komprimere gassen.

Der mangler dog mange brikker, inden hele puslespillet er lagt. Det er f.eks. ikke velforstået, hvilke fysiske mekanismer der fører til at GMC'erne selv dannes, og hvordan strukturer inden i dem udvikles. Temperaturen i en molekylsky er typisk kun nogle få K, hvilket er alt for lidt til at skabe balance mellem skyens selv-gravitation og dens interne tryk. GMC'er er med andre ord mange størrelsesordener tungere end den *Jeans* masse som svarer til deres temperatur og tæthed. GMC'er ville derfor kollapse under deres egen vægt i et frit fald, med mindre andre mekanismer forhindrer dem i det. Man regner med at GMC'er understøttes af en kombination af tryk udøvet af magnetfeltet i skyerne og turbulens, og sandsynligvis er disse mekanismer også bestemmende for hvordan strukturer internt i skyerne udvikler sig. For at opnå en teoretisk forståelse er man nødt til at støtte sig til numeriske simulationer som tager højde for alle disse processer, og samtidig har tilstrækkelig høj opløsning til både at beskrive skyen globalt og følge udviklingen af klumper og kerner. Først i de seneste år er det blevet muligt at udføre sådanne simulationer, og alt tyder på at gravitationelle kræfter kun er en ud af mange faktorer, man må tage med i beregningerne.

## Sammenfatning

Vi har set at unge massive hobe findes overalt hvor der foregår kraftig stjernedannelse. Kolliderende galakser med deres ekstremt mange unge hobe udgør ikke et egentligt specialtilfælde, men repræsenterer blot det ene yderpunkt af en korrelation som strækker



sig fra galakser med relativt lav stjernedannelsesaktivitet (f.eks. Mælkevejen) over galakser med højere stjernedannelsesrater (de Magellanske Skyer, M83 og andre) til deciderede "starburst" galakser. Jo højere stjernedannelsesrate, desto flere og mere massive unge hobe dannes der. Denne sammenhæng skyldes muligvis at galakser med kraftig stjernedannelse har en høj gastæthed, som dels gør det lettere at samle de store mængder gas som kræves for at danne en massiv stjernebob, og som dels leverer det høje tryk som er nødvendigt for at holde sammen på gasskyen indtil størstedelen af gassen er blevet til stjerner.

En sammenhæng mellem stjernedannelsesrate og dannelse af massive hobe kunne også forklare de høje  $S_N$  værdier for de centrale cD galakser i rige galakse-hobe. cD'ere er muligvis dannet ved kollision af mange enkeltgalakser tidligt i Universets historie, hvilket utvivlsomt har ført til voldsom stjernedannelse ligesom det i dag observeres i f.eks. Antennen. Vi ville derfor også forvente at der dannedes mange massive hobe, præcist som observeret. Dette forklarer dog stadig ikke hvorfor luminositetsfordelingen for gamle kuglehobe er så universel.

For at forstå dannelsen af stjernebobbe til bunds må man også forstå dannelsen af enkeltstjerner i hobene, og det miljø som hobene dannes i – altså deres værts-galakser. Som astronom kan man jo ikke studere en hob i et laboratorium og betragte forskellige processer isoleret. Astronomiske objekter kan kun studeres på afstand i deres naturlige omgivelser, som normalt er alt for komplicerede og sjældent tilstrækkeligt velforståede til at vi kan beskrive alle relevante processer. Men det er vilkårene, og så meget desto mere tilfredsstillende er det, hver gang endnu en brik falder på plads.

## Referencer:

- [1] H. Shapley, Astrophysical Journal **48** (1918) 154.
- [2] E. Hubble, Astrophysical Journal **75** (1932) 44.
- [3] W. E. Harris og S. van den Bergh, Astronomical Journal **86** (1981) 1627.

- [4] W. E. Harris, Ann. Rev. Astron. Astrophys. **29** (1991) 543.
- [5] B. C. Whitmore m. fl., fortryk (1999).
- [6] R. C. Kennicutt og Y.-H. Chu, Astronomical Journal **95** (1988) 720.
- [7] S. S. Larsen, Astronomy & Astrophysics Suppl. Ser., under trykning (1999).
- [8] S. S. Larsen og T. Richtler, Astronomy & Astrophysics **345** (1999) 59.
- [9] S. van den Bergh og A. Lafontaine, Astronomical Journal **89** (1984) 1822.
- [10] M. Schmidt, Astrophysical Journal **129** (1959) 243.
- [11] R. C. Kennicutt, Ann. Rev. Astron. Astrophys. **36** (1998) 189.
- [12] W. E. Harris og R. E. Pudritz, Astrophysical Journal **429** (1994) 177.
- [13] B. G. Elmegreen og Yu. N. Efremov, Ap. J. **480** (1997) 235.



Søren S. Larsen har netop afsluttet sin Ph.D ved Astronomisk Observatorium, NBIfAFG. Fra nytår 2000 arbejder han med kuglehobe ved Lick Observatoriet i Californien.

## Læserbreve i Kvant

På bagsiden af sidste nummer af Kvant omtalte vi at civilingeniør Kay Akselbo havde rost bladet i "Ingeniøren", og at vi derfor havde foræret "Ingeniøren" et gratisabonnement, så de kunne pleje deres læsere lidt bedre. Redaktionen af "Ingeniøren" har i øvrigt siden pænt takket for abonnementet, og nu har redaktøren også modtaget et indlæg fra Kay Akselbo, hvori han skriver:

*Det er en god ide med "petit-stof" på bagsiden. Et blad lever godt med anekdotisk materiale, og for den sags skyld kunne vi fordøje meget mere – og eventuelt blandet i det øvrige stof. Så når du nu har ladet dine læsere vide, at INGENIØREN har fået et gratis abonnement på grund af mig, kunne du sammesteds fortælle dem, at jeg også mener, at "det udmærkede magasin" KVANT kunne pleje både sine læsere og sine forfattere bedre – nemlig ved at ud-*

*vikle en levedygtig debat- og læserbrevside, hvor alle kunne stille spørgsmål, komme med forslag og øve kritik. I de første mange år lovede man os i hvert eneste nummer en sådan afdeling, men den kom aldrig. Burde man ikke undersøge hvorfor? Kan det f.eks. være, fordi man ikke gider vente på en dialog, der genoptages med så lange mellemrum – og iøvrigt sjældent til tiden, eller anses det måske ikke for god tone her i landet at diskutere andres arbejde? Den slags hæmninger har man ikke i de store internationale tidsskrifter, men de kommer jo altså også en gang om måneden, og det vil jo nok være for meget forlangt?*

Redaktionen (som kan kontaktes på kvant@nbi.dk) giver hermed ideen videre til læserne!



# Det Herrens År 532 – en tidsregnings fødsel

Chr. Marinus Taisbak, Institut for Græsk og Latin, Københavns Universitet.

## Den kristne æra – en knækket tommestok?

Det er en betydelig vanskelighed ved vor tidsregning, den kristne æra, at den ikke var opfundet da den begyndte. Den kan sammenlignes med en knækket tommers tommestok, der “begynder” omkring de 53 cm. Den er ikke helt god til at udmåle to meter.<sup>1</sup>

Lad mig begynde med min konklusion, for så kan De selv afgøre om De gider læse begrundelsen. Den kristne æra er fastlagt ved at år 1285 efter Roms grundlæggelse fik nummer 532 efter Kristi fødsel. Denne tildeling var (mener jeg) rent matematisk bestemt og kan ikke bruges til at fastslå fødselsåret. Eftersom denne dateringsmåde først er opfundet omkring 525, kan “man” ikke “i begyndelsen” have taget stilling til om år 1 efter Kristi fødsel var det år han var født, eller året efter. Ejheller har “man” glemt eller undertrykt et år “nul”. Det eneste der er sikkert, er at år MCCLXXXV *ab urbe condita* skulle hedde DXXXII *ab incarnatione Christi*.

Om “årtusindskiftet” er at sige: Hvis man gerne vil fejre at der er gået 2000 år (730500 dage minus 13 på grund af den gregorianske reform) siden den 1. januar år 1, så må man vente til den nytårsaften der afslutter år 2000. Det kan enhver tælle sig til. Hvis man hellere vil fejre at der er gået 2000 år siden den 1. januar året før (hvad det år så end skal hedde), så er nytårsaften i 1999 det rette tidspunkt.

Men hvorfor man skulle foretrække det ene for det andet, står mig ikke klart, for hvad skete der på de to dage som er værd at fejre? Ikke noget, mig bekendt. Et par romerske consuler tiltrådte deres embede, hvis da ikke Augustus selv havde sat sig på deres stole – det kan jeg ikke huske. Jamen i Jødeland? Måske ikke noget særligt.

Hvis man derimod er betaget af den enestående situation at et fircifret årstal for første gang i den vestlige kultur (vi må nok se bort fra hebræerne og de gamle ægyptere) skrives med et 2-tal forrest, så er der naturligvis ingen tvivl om hvornår der bør skåles. Det er denne betagelse af et 2-tal og tre nuller der fejres, og næppe noget som helst andet (skønt det må undre at et 1-tal og tre niere ikke har samme appel). Denne gang er vi – i modsætning til vore forfædre i 999 – ikke så mange der venter Kristi genkomst. Eller er vi, sådan i smug?

## En pavelig påskeregner

Men nu til den knækkede tommestok: Vi må til Rom, under pave Johannes I, i år 241 efter kejser Diokletians magtovertagelse, 1278 efter Roms grundlæggelse.

Sankt Cyrils alexandrinske tabeller over påskesøndags dato var ved at løbe ud, ville løbe ud med Diokletians år 247, og derfor lod Pavens rådgivere en ekspert tage sig af den opgave at udregne nye tabeller for det kommende århundrede – mere præcist 95 år. Tallet 95 hænger sammen med at månefaserne gentager sig i en cyklus på 19 år, og månens faser må man kende for at finde påskedag; den skal jo være den første søndag efter den fuldmåne der falder på forårsjævndøgn eller nærmest derefter, i henhold til beslutningerne på Nikæa-synoden et par hundrede år tidligere.

Eksperten var Dionysius (med sit hjemmelavede tilnavn Exiguus, den Bitte), som i et brev [1] til en biskop Petronius opstiller de ønskede tabeller med tilhørende matematiske redegørelser for de anvendte perioder: dels den 19-årige månecyklus, dels den 28-årige såkaldte “solcirkel”, nemlig den mindste periode inden for hvilken ugedagenes datoer gentager sig (28 fordi der er 7 dage i ugen og skudår hvert 4. år).

Deri var der intet specielt nyt – 19-års-perioden havde man forstået og benyttet i Babylon og Grækenland i henved tusind år. Det nye var at Dionysius lod det første år i den nye serie hedde, ikke år 248 efter Diokletian, men 532 efter Vor Herre Jesu Christi legemliggørelse, *ab incarnatione domini nostri Jesu Christi*. En sådan tælling havde ingen brugt før – såvidt vi véd.

Hvordan kom han til dette tal? Han siger det ikke i sine kommentarer, har måske haft sine grunde til ikke at sige det. Der er derfor mindst to muligheder: enten går han ud fra at hans læsere véd at det er rigtigt. Eller han har selv fundet på det, men vil helst ikke sige det altfor højt. Under alle omstændigheder lader teksten som om det er almindeligt bekendt, men som det vil fremgå af det følgende, tror jeg at han har valgt det for at forenkle sine regninger.

## To kalendere

Lad os sætte os med Dionysius ved hans skrivepult. Foran sig har han nok en årstalsliste, i hvert fald en fortegnelse over romerske consuler. Romerne daterede nemlig efter consuler indtil Justinian indførte kejserårstællingen, og der foreligger således en fuldstændig consulliste fra 245 til 1294 *ab urbe condita*, efter Roms grundlæggelse, ialt 1050 år.

Desuden har han to forskellige kalendere: den julianske og den alexandrinske. Den sidste var Kirkens liturgiske kalender, hvori alle fester og ceremonier var fastlagt. Dens årstal regnedes fra og med kejser Diokletians udnævnelse til kejser (i november år 1037

<sup>1</sup> Denne artikel bringes også i “Kritisk forum for praktisk teologi” december 1999, og i “Matilde” nr. 2, januar 2000.



efter Roms grundlæggelse); det aktuelle år hedder 241, fremgår det af hans tabeller. Et alexandrinsk år er enkelt i sin opbygning (se tavle 1), med 12 måneder á 30 dage plus 5 extra dage, de såkaldte *epagomener*, i alt 365 dage.

De alexandrinske måneder har ægyptiske navne: thoth (I), phaophi (II), hathyr (III), choiak (IV), tybi (V), mecheir (VI), phamenoth (VII), pharmouthi (VIII), pachon (IX), pauni (X), epiphi (XI), mesore (XII). Her-til kommer de fem *epagomenai*.

Hvert fjerde år indskydes en sjette epagomene for at året kan holde trit med den julianske kalender [2]. Det alexandrinske år adskiller sig fra det julianske ved at have nytårsdag (1. thoth) den 29. august [3], således at et alexandrinsk år har fire måneder fælles med ét juliansk år og otte måneder med det næste. På grund af skuddagenes placering falder 1. marts altid sammen med VII.5 (femte phamenoth); det vil vise sig yderst bekvemt for påskeberegningen.

Den julianske kalender kender vi bedre, for det er den vi stadig bruger (med pave Gregor den 13.'s beskedne ændring) [4]. For Dionysius tog den sig dog endnu ud som da Cæsar fik den lavet: Hver måned begynder med en navngiven dag, *Kalendae*, Kalde- eller Udråbe-dagen, og nytårsdagen hedder således *Kalendae Ianuariae*. Men aldrig så snart er den gået, før romeren vender blikket fremad mod den næste navngivne dag, *Nonae* (som er månedens 5'te eller, i marts, maj, juli og oktober, 7'ende dag) – på den måde at man tæller dagene frem til og med denne mærkedag og nummererer den aktuelle dag med resultatet: *Nonae* er fjerdedagen fra og med den 2. januar, som derfor kaldes *ante diem quartum Nonas Ianuarias*.

Denne dateringsmåde har bl.a. den ejendommelige følge at den sidste halvdel af hver måned benævnes med navnet på den følgende. Den berømte 15. marts hedder *Idus Martiae*, men dagen efter hedder "syttendedagen før *Kalendas Apriles*". Det skal man lige vænne sig til når man tyder latinske datoer. På tavle 2 ses en oversigt over marts og april samt de tilsvarende alexandrinske måneder VII (phamenoth) og VIII (pharmouthi); kun disse to måneder er interessante for en påskeregner.

## Påskeberegning

Den væsentligste opgave for Kirkens ledelse i disse tidlige århundreder var at få menighederne til at fejre påske samtidigt og rettidigt. Julen var af pave Julius I blevet lagt fast til den 25. december et par hundrede år tidligere, og påskefesten havde kirkemødet i Nicaea bestemt til at finde sted hvert år på den første søndag efter forårsfuldmånen, dvs. den der falder på eller nærmest efter forårsjævndøgn. Men hvordan skulle en præst i sit sogn fjernt fra Rom vide hvornår den søndag var?

Dertil havde man tabeller, i hvert fald siden Nicaeamødet; Cyrillus af Alexandria havde udregnet sådanne for en periode af 5 eller 6 gange 19 år, og dem er det

Dionysius den Spinkle skal fortsætte. Opgaven er i sig selv simpel nok; den kræver kun lidt regnefærdighed, kendskab til nogle konstanter og regler, og dertil omhu. Dionysius' forudsætninger kan opregnes således:

1. I 19 solår (á 365,25 dage) er der 235 lunationer (á 29,53 dage). (En lunation er tidsrummet mellem to nymåner.) Denne periode er kendt som "Metons cyklus" siden 430 f. Kr.

2. Fordi hver lunation nødvendigvis må have et helt antal dage, skal hveranden lunation i praksis være på 30 dage, hveranden på 29.

3. En kort lunation må ikke slutte i en ulige måned [5]. "Måned" har her den gængse betydning "kalendermåned", altså f.eks. thoth (i den alexandrinske kalender) eller januar (i den julianske).

4. Hvis en kort lunation slutter i en ulige måned, udnævnes den til at være en 30-dages lunation under betegnelsen "*embolismos*", indskuds-lunation.

5. 19 solår kommer på denne måde "automatisk" til at indeholde 7 indskuds-lunationer og dermed 121 lunationer á 30 dage og 114 lunationer á 29 dage.

6. Et "måneår" på 12 lunationer er 354 dage. Ser man bort fra den kvarte dag [6], er månens alder altså ved begyndelsen af et år 11 dage større end ved begyndelsen af det forrige. Denne tilvækst kaldes med et græsk ord *epakten*.

7. Hvis epakten et år bliver større end 29, subtraheres 30 (fordi der så har været indskuds-lunation).

8. I den alexandrinske kalender er månens alder ved månedernes begyndelse i periodens første år 2, 2, 3, 3, 4, 4, 5, 5, 6, 6, 7, 7, 8 (se tavle 1). Disse tal kaldes *regulae* eller *regulares*.

9. Epakten i første år er 0; der skal ikke adderes noget til *regulares*. Dionysius har ikke noget romertal for 0, så han skriver *nulla*. Begrebet har han altså, og han synes at være den første der bruger det. Hans forgængere lod epakten være 30 i første år.

10. Epakterne i de følgende år bliver ifølge forudsætning 6 og 7: 11, 22, 3, 14, 25, 6, 17, 28, 9, 20, 1, 12, 23, 4, 15, 26, 7, 18, og derefter igen 0. Det bemærkes at månens alder vokser med 12 i sidste år i perioden, det såkaldte "månespring", *saltus lunae*.

11. Fuldmånedagen er den dag, hvor månen er 14 dage gammel (luna xiv). Det skyldes at lunationens første dag er den dag hvor nymånen kan *observeres*, hvilket først er muligt et par døgn efter konjunktionen (hvor månen overhaler solen).

12. I et normalt år er der 52 uger plus 1 dag, i skudår plus 2 dage. Derved rykker søndagene i marts og april (som er dem der vedkommer os) en dato frem hvert år, i skudår to datoer.

13. I Dionysius' tabeller angives ugedagen for den 24. marts under overskriften *concurrentes*, "medløbende dage"; (hvorfor det netop er den 24., har jeg ikke kunnet opklare). Idet søndag betegnes 1, mandag 2, osv. fås følgende mønster i henhold til regel 12: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 2, 3, 4, 5, 7, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 1, 3, 4, 5, 6, og derefter forfra i den periode på 28 år der



**årstal med rest 0 modulo 19** (fx. 532, 551, 570)

epakt **nulla** (månens alder ved månedernes begyndelse er *regulae*)

| aleph     |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |
|-----------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| alex dato | 1 | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |   |
| I         |   | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1 |
| II        |   | 2 | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2 |
| III       |   | 3 | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2 |
| IV        |   | 3 | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3 |
| V         |   | 4 | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3 |
| VI        |   | 4 | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4 |
| VII       |   | 5 | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4 |
| VIII      |   | 5 | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 |
| IX        |   | 6 | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5 |
| X         |   | 6 | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 |
| XI        |   | 7 | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6 |
| XII       |   | 7 | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7 |
| epag.     | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |   |

**årstal med rest 1 modulo 19**

epakt **xi** (månens alder ved månedernes begyndelse er *regula* + 11)

| alex dato | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| I         | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 |
| II        | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| III       | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 |
| IV        | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| V         | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| VI        | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| VII       | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| VIII      | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| IX        | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| X         | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| XI        | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| XII       | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| epag.     | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

**årstal med rest 2 modulo 19** (Indskuds-lunationens begyndelse markeret med >)

epakt **xxii** (månens alder ved månedernes begyndelse er *regula* + 22)

| alex dato | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| I         | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
| II        | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| III       | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| IV        | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| V         | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| VI        | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| VII       | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| VIII      | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| IX        | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| X         | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| XI        | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| XII       | 29 | >1 | >2 | >3 | >4 | >5 | >6 | >7 | >8 | >9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| epag. 30  | 1  | 2  | 3  | 4  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

**Tavle 1.** Den alexandrinske kalender, med månens alder indtegnet. Luna 14 er fuldmåne.



### årstal med rest 3 modulo 19

epakt xxxiii = iii (3 gange 11 minus 30, indskuds-lunationen subtraheres)

| alex dato | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| I         | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  |
| II        | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| III       | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| IV        | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| V         | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  |
| VI        | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| VII       | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |
| VIII      | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
| IX        | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
| X         | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| XI        | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  |
| XII       | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| epag      | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

### årstal med rest 4 modulo 19

epakt xxxiv = xiv (4 gange 11 minus 30, månens alder ved månedernes begyndelse er *regula* + 14)

| alex dato | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| I         | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| II        | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| III       | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| IV        | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| V         | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| VI        | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| VII       | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| VIII      | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| IX        | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| X         | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| XI        | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| XII       | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| epag      | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

### årstal med rest 5 modulo 19

epakt Lv = xxv (5 gange 11 minus 30, månens alder ved månedernes begyndelse er *regula* + 25)

| alex dato | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| I         | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 |
| II        | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| III       | 28 | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
| IV        | 28 | 29 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| V         | 29 | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 |
| VI        | 29 | >1 | >2 | >3 | >4 | >5 | >6 | >7 | >8 | >9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| VII       | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| VIII      | 30 | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
| IX        | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| X         | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  |
| XI        | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1  |
| XII       | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 1  | 2  |
| epag.     | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Tavle 1 (fortsat).



senere fik navnet "solcirklen".

Med disse forudsætninger kan den alexandrinske kalender udfyldes med månealdre som på tavle 1. Epakten i et givet år kan aflæses i punkt 10 hvis man har en sådan liste til rådighed og kender årets nummer i den 19-årige periode. Men hvis ikke, kan dette nummer udregnes hvis man kender årstallets rest ved division med 19 og véd hvilken rest det første år i perioden har ved division med 19. Det ses let at regningerne forenkles hvis 19 går op i periodens første års årstal; thi så er epakten i et forelagt år 11 gange den rest, årstallet giver ved division med 19, minus det størst mulige multiplum af 30.

For at finde påskedag skal han kende søndagene i det aktuelle år; derfor skal han kende de "medløbende" dage, *concurrentes*, "et system der hidrører fra solen og udgør en cyklus på syv spand á fire år", *septeno annorum iv jugi circuitu* [7], med andre ord: solcirkelskemaet fra regel 13.

For at understrege at han bygger på en tradition, re-producerer han Cyrillus' sidste 19 år, fra Diokletian 229 til 247. Man har anfægtet ægtheden af dette dokument og kaldt det en fiktion, bl.a. fordi det er på latin og udformet i den julianske kalender, mens Cyrillus' tabel over disse 19 år naturligvis må have været på græsk, udregnet i den alexandrinske kalender. Men dels giver det ham lejlighed til at demonstrere det som er hans vigtigste bedrift: *at fremstille påsketabellerne på latin og i den julianske kalender*, hvad der vil komme den romerske del af Kirken svært godt tilpas. Dels styrker det utvivlsomt hans autoritet at lægge sig i kølvandet på en så from og dygtig kirkefader. Og autoritet behøver han for at lancere sin nye ide: Han befinder sig, siger han selv, i Diokletians år 241, hvorfra der kun vil være yderligere seks år til tabellen løber ud. Derfor er det nu hans opgave at udregne påskefuldmåner og påskesøndage for de følgende 95 år, men – her lader han den bombe springe der er anledning til vort millennium-postyr: han vil tælle årene i sine nye tabeller *ab incarnatione Domini Nostri Jesu Christi, fra Vor Herre Jesu Kristi kødeliggørelse*, for ikke til stadighed at mindes kristenforfølgeren Diokletian. Derfor bliver det år der følger 247 Diokletian til 532 efter Kristi fødsel, som det ses på tavle 3. Dette er den første tekst hvor et årstal optræder som *Annus Domini*.

## Anno Domini DXXXII

Hvorfra fik han nu dette årstal? Han lader som om det er (eller burde være) almindeligt bekendt, men har nok gjort sig følgende overvejelser:

Da jeg ikke med sikkerhed véd hvornår Vor Herre blev undfanget og født, (men at det er 500 år siden plus henvend en generation, fremgår af kilderne), og da det vil være praktisk at 19 går op i dette tal, er der jo ikke mange muligheder: 513 eller 532 eller 551 eller 570. Blandt disse er 532 at foretrække fordi det skal være et skudår, og der er en hensigtsmæssig tradition for at 4 går op i skudårets nummer.

Hvis år 248 Diokletian skal hedde 532 *ab incarnatione Christi*, må det år hvor Dionysius sidder og skriver dette, hedde 525. Derom affatter han nogle regler, *argumenta*, som han hævder at have fra skarpsindige kilder i Ægypten, *Aegyptiorum sagacitate quaesita*. De tre første er karakteristiske: ikke helt vrøvl, men tilstrækkeligt indviklede og uklare til at ingen lægmand ville turde modsige dem – og lægmand var måske selve Paven i henseende til påskeberegning. Lad os læse de to første i sammenhæng og siden kommentere dem:

### FØRSTE REGEL. *Kristi år.*

Hvis du vil vide hvilket år det er efter Vor Herre Jesu Kristi legemliggørelse, skal du udregne 15 gange 34, det bliver 510; dertil skal du altid lægge 12 extra, det bliver 522; læg dertil *indiktionen* for det pågældende år, f.eks. 3 [her] i Probus den Yngres consulatsår, det bliver alt i alt 525; såmange er årene efter Vor Herres legemliggørelse.

### ANDEN REGEL. *Om indiktionen.*

Hvis du vil kende indiktionens nummer i f.eks. Probus den Yngres consulatsår, skal du tage årene efter Vor Herre Jesu Kristi legemliggørelse, 525. Dertil skal du altid lægge 3, det bliver 528. Dem skal du dele med 15, der bliver til rest 3. Indiktionens nummer er tre. Men hvis der ikke er nogen rest, er det den 15' de indiktion.

Et kodeord er *indictio*, en tidsangivelse som spillede en vigtig (men ikke afklaret) rolle i den romerske forvaltning. En indiktionsperiode er på 15 år, hvor hvert år får et nummer fra 1 til 15. De regler som Dionysius her anvender, antager at Jesus er født i et år med indiktion 4; men det er ikke muligt at fastslå om denne antagelse bygger på en tradition eller er opfundet af Dionysius for at underbygge hans nye datering. Den kendes (såvidt jeg ved) kun fra denne bemærkning hos Dionysius og dementeres af de (mere pålidelige) kilder der hævder at indiktionstællingen er indført af Konstantin den Store fra og med den 29. August 312.

I hans første *argumentum* anvendes ordet *indictio* ikke, men de 34 perioder á 15 år kan næsten kun fortolkes sådan. I det lys ses det let at de to første *argumenta* er circulære, dvs. gensidigt forudsætter hinanden.

### TREDJE REGEL. *Om epakterne.*

Hvis du vil vide hvormange epakterne er, dvs. månens tillægstal, skal du tage årene efter Vor Herre Jesu Kristi legemliggørelse, så mange som der har været, 525. Dem skal du dele med 19, der bliver til rest 12. Gang med 11, det bliver 132. Dem skal du ligeledes dividere, nemlig med 30, der bliver til rest 12. Tolv er Månens tillægstal. [Her er en anden måde at regne dem ud på: Regn fra det første år til det år du vil, f.eks. det 10' ende. Træk altid 1 fra, der bliver til rest 9. Gang 9 år med 11 årlige tillægstal, og du får ni gange elleve, 99. Dem skal du dele med 30, det bliver tre gange 30, altså 90, til rest



|                    |         |                   |
|--------------------|---------|-------------------|
| kalendae martiae   | 1 marts | 5 phamenoth VII   |
| vi nonas martias   | 2       | 6                 |
| v                  | 3       | 7                 |
| iv                 | 4       | 8                 |
| iii                | 5       | 9                 |
| ii (pridie nonas)  | 6       | 10                |
| nonae martiae      | 7       | 11                |
| viii idus mar      | 8       | 12                |
| vii                | 9       | 13                |
| vi                 | 10      | 14                |
| v                  | 11      | 15                |
| iv                 | 12      | 16                |
| iii                | 13      | 17                |
| ii (pridie idus)   | 14      | 18                |
| idus martiae       | 15      | 19                |
| xvii kal apriles   | 16      | 20                |
| xvi                | 17      | 21                |
| xv                 | 18      | 22                |
| xiv                | 19      | 23                |
| xiii               | 20      | 24                |
| xii aequinox       | 21      | 25 jævndøgn       |
| xi tidligste påske | 22      | 26                |
| x                  | 23      | 27                |
| ix concurrentes    | 24      | 28 ugedagen       |
| viii               | 25      | 29                |
| vii                | 26      | 30                |
| vi                 | 27      | 1 pharmouthi VIII |
| v                  | 28      | 2                 |
| iv                 | 29      | 3                 |
| iii                | 30      | 4                 |
| ii (pridie kal)    | 31      | 5                 |

|                   |         |                   |
|-------------------|---------|-------------------|
| kalendae apriles  | 1 april | 6 pharmouthi VIII |
| iv nonas apriles  | 2       | 7                 |
| iii               | 3       | 8                 |
| ii (pridie nonas) | 4       | 9                 |
| nonae apriles     | 5       | 10                |
| viii idus apr     | 6       | 11                |
| vii               | 7       | 12                |
| vi                | 8       | 13                |
| v                 | 9       | 14                |
| iv                | 10      | 15                |
| iii               | 11      | 16                |
| ii (pridie idus)  | 12      | 17                |
| idus apriles      | 13      | 18                |
| xviii kal maias   | 14      | 19                |
| xvii              | 15      | 20                |
| xvi               | 16      | 21                |
| xv                | 17      | 22                |
| xiv               | 18      | 23                |
| xiii              | 19      | 24                |
| xii               | 20      | 25                |
| xi                | 21      | 26                |
| x                 | 22      | 27                |
| ix                | 23      | 28                |
| viii              | 24      | 29                |
| vii seneste påske | 25      | 30                |
| vi                | 26      | 1 pachon IX       |
| v                 | 27      | 2                 |
| iv                | 28      | 3                 |
| iii               | 29      | 4                 |
| ii                | 30      | 5                 |
| kalendae maias    | 1       | 6                 |

**Tavle 2.** Påskemånederne i den julianske og alexandrinske kalender.

9. Så er nittenårscyklens epakt den niende. Således med det 11'te år: Træk én fra, til rest 10, ti gange elleve, 110. Deles med 30, til rest 20. Så er nittenårscyklens epakt den tyvende i år 11. Ligeså kort vil du kunne udregne [epakterne] for alle nitten år.]

I denne tredje regel røbes hvad vi havde gættet: Hvis 19 går op i periodens første årstal, er epakten let at beregne; (og den alternative metode, der angives, peger netop hen på Cyrillus' tabeller, hvor der først skal trækkes 1 fra Diokletian-årstallet).

I det fjerde *argumentum* anvender Dionysius en formel til at beregne *concurrenten* (ugedagen den 24. marts hvert år), som tydeligt nok er gammel men tilpasset til at *concurrenten* i 532 skal være 4 (onsdag) [8]:

Tag årstallet (f.eks. 525), læg den hele del af fjerdedelen til (131), i alt 656. Læg altid 4 til (tilpasning), i alt 660. Find resten ved division med 7, nemlig 2. Så er *concurrenten* 2, dvs. den 24. marts er en mandag.

Et eksempel (af de lettere) vil illustrere hans opgave: Find påskedag i år 536 (se tavle 3). Find først luna 14 i VII (phamenoth) og VIII (pharmouthi) i år 536 således:  $536 : 19 = 28$ , rest 4. 4 gange 11 er 44, som divideres med 30, rest 14. Epakten er 14; og da regulares i VII og VIII er 5, er månens alder den første i syvende (VII.1)  $5+14 = 19$ . Luna 14 indtræffer på VII.26 og VIII.25, hvoraf VII.26 falder efter jævndøgn (som er VII.25) og derfor skal bruges som påskefuldmåne. VII.26 svarer til 22. marts (xi kal apr), og vort resultat stemmer overens



Øverst otte år fra St. Cyrils tabeller indtil Diokl. 247. Derefter Dionysius' egne fra det Herrens år 532 uden noget andet brud i systemet end årstallet. Skudår efter 532 er markeret med fremhævet skrift.

| ANNI<br>DIOCLETI-<br>ANI | INDIC-<br>TIONES | EPACTAE | CONCUR-<br>RENTES | LUNAE<br>CIRCULUS | LUNA XIII<br>PASCHALIS | DIES DOMINICAE<br>FESTIVITATIS | LUNA DIEI<br>DOMINICI |
|--------------------------|------------------|---------|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| CCXXXIX                  | i                | xx      | vi                | viii              | xvii kal. mai.         | xvi kal. mai.                  | xv                    |
| CCXL                     | ii               | i       | i                 | viii              | ii non. apr.           | vii id. apr.                   | xvii                  |
| CCXLIII                  | xii              | ii      | x                 | ix kal. apr.      | iii kal. apr.          | xx                             |                       |
| CCXLII                   | iiii             | [xxiii] | iii               | xi                | ii id. apr.            | xiii kal. mai                  | xxi                   |
| CCXLIII                  | v                | [iiii]  | iiii              | xii               | kal. apr.              | ii non. apr.                   | xvii                  |
| CCXLIII                  | vi               | [xv]    | vi                | xiii              | xii kal. apr.          | vii kal. apr.                  | xviii                 |
| CCXLV                    | vii              | [xxvi]  | vii               | xiiii             | v id. apr.             | xvii kal. mai.                 | xx                    |
| CCXLVI                   | viii             | [vii]   | i                 | xv                | iiii kal. apr.         | ii kal. apr.                   | xvi                   |
| CCXLVII                  | viii             | [xviii] | ii                | xvi               | xv kal. mai.           | xii kal. mai                   | xvii                  |

| ANNI<br>DOMINI | INDIC-<br>TIONES | EPACTAE | CONCUR-<br>RENTES | LUNAE<br>CIRCULUS | LUNA XIII<br>PASCHALIS  | DIES DOMINICAE<br>FESTIVITATIS | LUNA DIEI<br>DOMINICI |
|----------------|------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| <b>Dxxxii</b>  | x                | nulla   | iiii              | xvii              | non. april.             | iii id. april                  | xx                    |
| Dxxxiii        | xi               | xi      | v                 | xviii             | viii kal. april.        | vi kal. april                  | xvi                   |
| Dxxxiiii       | xii              | xxii    | vi                | xviii             | id. april.              | xvi kal. mai.                  | xvii                  |
| Dxxxv          | xiii             | iii     | vii               | i                 | iiii non. april.        | vi id. april.                  | xx                    |
| <b>Dxxxvi</b>  | xiii             | xiii    | ii                | ii                | xi kal. april.          | x kal. april.                  | xv                    |
| Dxxxvii        | xv               | xxv     | iii               | iii               | iiii id. april.         | ii id. april.                  | xvi                   |
| Dxxxviii       | i                | vi      | iiii              | iiii              | iii kal. april.         | ii non. april.                 | xviii                 |
| Dxxxviii       | ii               | xvii    | v                 | v                 | xiiii kal. mai.         | viii kal. mai.                 | xx ogd.               |
| <b>DxL</b>     | iii              | xxviii  | vii               | vi                | vii id. april.          | vi id. april.                  | xv                    |
| DxLi           | iiii             | viii    | i                 | vii               | {v}i kal. april.        | ii kal. april.                 | xviii                 |
| DxLii          | v                | ix      | viii              | xvii kal. mai.    | xii kal. mai.           | xviii                          |                       |
| DxLiii         | vi               | i       | iii               | viii              | ii non. april.          | non. april.                    | xv                    |
| <b>DxLiii</b>  | vii              | xii     | v                 | x                 | viii kal. april.        | vi kal. april.                 | xvii                  |
| DxLviii        | xxiii            | vi      | xi                | ii id. april.     | xvi kal. mai.           | xviii                          |                       |
| DxLvi          | viii             | iiii    | vii               | xii               | kal. april. vi id. apr. | xxi                            |                       |
| DxLvii         | x                | xv      | i                 | xiii              | xii kal. april.         | viii kal. mai.                 | xvii                  |
| <b>DxLviii</b> | xi               | xxvi    | iii               | xiiii             | v id. april.            | ii id. apr.                    | xvii                  |
| DxLviii        | xii              | vii     | iiii              | xv                | iiii kal. april.        | ii non. apr.                   | xx                    |
| DL             | xiii             | xviii   | v                 | xvi               | xv kal. mai.            | viii kal. mai.                 | xxi hend.             |

Således fortsættes til og med år 626, Dcxxvi. For hvert 19. år vender påskefuldmånedagen, lunae xiv paschalis (søjle 6), tilbage. Om indictiones, epactae og concurrentes er der skrevet ovenfor. Søjle 5, lunae circulus, henviser til en 19-årig månecyklus der tog sin begyndelse ved verdens skabelse, og som Dionysius nok kun medtager for traditionens skyld. I søjle 7 står den vigtigste oplysning: påske-søndags dato, og i søjle 8 månens alder på denne søndag.

Tavle 3. Dionysius Exiguus' påsketavler.



med Dionysius' tabel. *Concurrenten* (ugedagen den 24. marts) er ifølge tabellen 2, altså mandag. Dagen før, den 23. marts, er derfor påskesøndag [9].

### En påskecyklus er 532 år

Dionysius besluttede at kalde det første år i sin nye tabel nr. 532 efter Herrens kødeliggørelse, *fordi 19 og 4 går op i 532*. Han har vidst at det ikke var helt forkert, at det måtte være omtrent det rigtige tiår. Han vidste, som tidligere historiograf for paverne Symmachus og Hormidas, hvornår Pontius Pilatus havde været *praefectus* i Judaea, nemlig i 780–790 efter Roms grundlæggelse. Og i det år, 241 efter Diokletian, hvor han beregnede sine tabeller, skrev man 1278. Hvis Jesus havde været først i trediverne da han blev korsfæstet, var 532 et passende gæt, og i hvert fald det nærmeste som både 4 og 19 går op i.

At også 28 går op, gør han ikke opmærksom på, selv om Beda (i 725) roser ham for at have indledt Den Anden Påskecyklus, idet en fuldstændig cyklus er 19 gange 28 år, altså 532. Engang imellem har man lov at være heldig, eller som han selv ville have sagt det: have Helligånden med sig. Men Bedas regnestykke er i øvrigt forkert, for den første påskecyklus måtte vel begynde, ikke med Jesu fødsel, men med korsfæstelsen. Hans bemærkning kan imidlertid opfattes som propaganda eller reklame for Dionysius' dateringsmåde, for det var først da Beda i 725 publicerede sine lærebøger og tabeller til brug for Kirkens folk, at denne dateringsmåde blev almindeligt kendt. Og vi skal helt frem til Karl den Store og hans kulturminister Alcuin før den er en selvfølge. Det er næppe tilfældigt at Karl blev kronet i Peterskirken (ved et surprise party) juledag år 800 efter incarnationen. Det har været en "rund" oplevelse.

Historikerne har dog ikke kunnet verificere dateringen – hvormed jeg mener: skal vi tro at Herodes den Store var ude efter de nyfødte, må Jesus være født inden Herodes døde i år 4 f. Kr. Og skal vi tro at turen til Bethlehem var en følge af Quirinius' folketælling, må han være født i år 6 e. Kr.

### Millennium

Og så er vi fremme hvor vi begyndte: Hvad er det så egentlig der fejres natten mellem år 1999 og år 2000? En fornemmelse af at passere et rundt tal? Men vi passerer ikke et rundere tal ved den lejlighed end i ethvert øjeblik. Lad mig forklare: Det er uimodsigeligt at der har været en dag som (ved bagudrettet ekstrapolation) fortjener at kaldes den 1. januar år 1. Vi er nemlig så heldige at Julius Cæsars kalender allerede var i brug. Med den 1. januar år 1 begynder den kristne æra, teoretisk, – ingen vidste jo dengang at den skulle blive opfundet. Men nytårsaften 1999 er der kun gået 1999 år siden hin nytårsdag.

Problemet er dels et heltalsproblem, dels sprogpsykologisk. Bag et årstal gemmer sig jo ikke et punkt på tallinjen, men et interval; på tallinjen (og

tommestokken) ligger de hele tal diskret som ækvidistante punkter, så hvis vi vil nummerere et interval mellem to hele tal, må vi vælge enten det venstre eller det højre tal. Tommestokkens første centimeter hedder (for de fleste af os, vil jeg tro) spontant nr. 1 og nummereres altså efter det højre endepunkt. På samme måde med leveår: et barns første år er dette barns år 1, og først når det er gået, fylder barnet ét år. Her i december år 1999 fylder Jesus fra Nazareth altså 1999 år (hvis vi holder os til Dionysius).

Psykologisk ser det ud til at vi hæfter os mere ved det tal vi ser, end ved det vi siger. Når børn lærer at tælle på fingrene, lyder det 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Ingen begynder mig bekendt med 0, 1, 2, ..., end ikke computer-børn. Man skal tælle til 10 for at have ti kr, 9 er ikke nok. Og til 100 for at have hundrede. Men tallet 10 ser ud som om det indleder en ny række (nemlig de tocifrede tal), ikke som om det afslutter en. Tallene 100 og 1000 har det på samme måde, og derfor tror alverden at man kan tælle til totusind år ved at tælle til 1999. Interessant.

De 2000 kan reddes, hvis vi siger at vi den nævnte nat begynder at fejre år 2000 efter Kristi fødsel. Hvad skulle begrunde at vi fejrer *indgangen* til sådan et år? Jo, det kunne jo være fordi vi ikke er sikre på hvilken dato der er Jesu *rigtige* fødselsdag, så for en sikkerheds skyld vil vi fejre ham hver dag i år 2000. Det er en forståelig begrundelse, men så må vi nok hamstre lidt mere champagne end de fleste har tænkt sig.

Jamen, mangler vi ikke et år 0? Astronomerne har indført den betegnelse for at lette deres subtraktioner, men det er ikke et ekstra år (som nogle tror), men blot et andet navn for "år 1 før Kristus". (Derved bliver år minus 1 det samme som 2 f. Kr., osv). Og selv om man lader Jesus være født i december år 0 (1 f. Kr.), bliver år 1 efter Kr. stadig det første år i vor tælling, så det redder ikke årtusindskiftet. Man kan naturligvis lade Paven eller en folkeafstemning bestemme noget andet, men det bliver det jo ikke historie af.

Dionysius den Bitte har utvivlsomt forestillet sig at Jesus var født i år 1, (754 efter Roms grundlæggelse), for normalt medregnede man i konge- og kejseræraer hele det år hvori de var tiltrådt [10]. Her må vi ikke glemme at Dionysius arbejdede med den alexandriske kalender, hvor julen jo lå i slutningen af fjerde måned; så det ville være absurd at forestille sig andet end at fødselsåret måtte være det første år. Selv ville han næppe have tænkt på at omtale et årstal som "før Kristi fødsel". Før Kristus talte man årene fra Roms grundlæggelse eller i Augustus' æra. hvad ellers? Betegnelsen "før Kristus" fik man først tusind år senere da nogen fandt på at denne tælling kan forlænges bagud så langt det skal være, helt til verdens skabelse. Midnat til den 1. januar år 1 blev fra da af Evighedens midtpunkt.



## Referencer:

- [1] Migne, *Patrologia Latina* **67**, side 19 og 483.
- [2] Den alexandrinske kalender er et barn af den rullende Nabonassar-æra, hvor alle år var lige lange, nemlig 365 dage. I denne "gammel-ægyptiske" kalender flytter nytårsdagen i løbet af fire år en dag frem i forhold til solen og løber hele året rundt på 1460 solår. Denne æra anvendtes i Ptolemaeus' *Almagest* og holdt sig i brug i astronomien helt op til efter renaissance, især fordi det konstante år er bekvemt at regne med. Da Augustus efter sejren ved Actium indførte denne kalender i administrationen af de østlige provinser, lod han indføre en skuddag hvert fjerde år for at den alexandrinske kalender skulle holde trit med den julianske (som da kun var 16 år gammel). Den alexandrinske skuddag ligger et halvt år før den julianske.
- [3] I de år der indeholder den julianske skuddag, er 1. thoth = 30. august.
- [4] Hvert fjerde år er skudår undtagen i de år der er delelige med 100, men ikke med 400.
- [5] Denne regel udtrykkes ikke nogetsteds, men skyldes en meget troværdig rekonstruktion af W. E. van Wijk.
- [6] Solårets skuddage synes at være ignoreret i dette system: månen blev simpelthen ikke "ældre" på skuddagen. Men noget sikkert ved vi ikke om det.
- [7] Migne, P. L. **67**, side 20.
- [8] Heraf følger den berømte regel: dagen før den kristne æras begyndelse (altså dagen før år 1) var en fredag.
- [9] Dionysius bryder reglen om lige-ulige et par steder i sin "oversættelse" fra den alexandrinske til den julianske kalender, men de fleste kan forklares. Se W. E. van Wijk side 14 ff.
- [10] Analogt er hele 1972 Margrethe II's første regeringsår selv om hun først succederede d. 14. januar.

## Litteratur

Ginzl, F. K.: *Handbuch der mathematischen und technischen Chronologie*. 3 bind, Hinrichs. Leipzig 1906-14.

Pedersen, Olaf: *The Ecclesiastical Calendar and the Life of the Church. Gregorian Reform of the Calendar. Proceedings of the Vatican Conference to Commemorate its 400th Anniversary – 1582-1982*. Vatican, 1983, side 17-74.

Wijk, W. E. van: *Le nombre d'or*. Nijhoff, Haag 1936.



Chr. Marinus Taisbak (marinus@private.dk) var indtil 1994 docent i klassisk filologi på Institut for græsk og latin, KUA. Siden 1994 er han extern lektor i de matematiske videnskaber i oldtiden. Har har især forsket i Euklid og Apollonius.

---

## Valg til bestyrelsen og sektionerne i DFS

I henhold til DFS's love skal der afholdes valg til bestyrelsen og sektionerne i DFS.

Valget udskrives hermed til mandag den 10. april 2000. Forslag til kandidater skal være fremsendt senest 21 dage før, dvs. senest den 20. marts 2000 til valglederen: Bjarne Andresen, Ørsted Laboratoriet, Universitetsparken 5, 2100 København Ø.

For at være gyldig skal forslag være ledsaget af tre medlemmers underskrifter som stillere samt af kandidatens underskrift. Alternativt kan forslag fremsendes som sektionernes eller bestyrelsens forslag.

Bestyrelsen for faststofsektionen har ændret

sin sammensætning i forbindelse med årsmødet og har siden da bestået af Henrik Bruus, formand (bruus@nbi.dk), Henrik Flyvbjerg (flyvbj@selforg.nbi.dk), Hans Fogedby (fogedby@ifa.au.dk), Franois Grey (fg@mic.dtu.dk), Ling Miao (miao@fysik.sdu.dk), Dorthe Posselt (dorthe@mmf.ruc.dk), og Jakob Schitz, sekretær (schiotz@fysik.dtu.dk). Disse kandidater er derfor allerede nu opstillet til valget.

KIF's bestyrelse er valgt i forbindelse med årsmødet (se side 45) og er derfor ikke på valg.

Kvant vil i næste nummer præsentere alle de kandidater, der er foreslået pr. 10. februar 2000.



# Nobelprisen i Fysik 1999: Renormalisation af ikke-abelsk gauge-teori

Benny Lautrup og Jens Lyng Petersen, Niels Bohr Institutet

## Nobelpriskomiteens begrundelse

Nobelprisen i fysik for 1999 blev den 12. oktober tildelt to hollandske fysikere, en lærer og hans elev, hvilket er en noget usædvanlig konstellation. Den yngre af parret, Gerardus 't Hooft (født 1946), er professor ved universitetet i Utrecht, medens hans tidligere vejleder, Martinus ("Tini") J.G. Veltman (født 1931), er professor emeritus samme sted.

Med Nobelkomiteens ord fik de to forskere prisen for deres belysning af elektrosvage vekselvirkningers kvantestruktur. I større detalje hedder det, at

De to forskere har fået Nobelprisen for at have placeret partikelfysikken på et fastere matematisk grundlag. I særdeleshed har de vist, hvordan teorien kan anvendes til nøjagtige beregninger af fysiske størrelser. Eksperimenter ved acceleratorlaboratorier i Europa og USA har for nylig bekræftet mange af de forudberegnete resultater.

Prisen er bemærkelsesværdig ved at fokusere på et rent matematisk bidrag til fysikken. Nobelpristagernes arbejde udgør det tekniske grundlag for den moderne teori, som forener elektromagnetiske og svage vekselvirkninger. De viste, hvorledes teorier af denne karakter kunne *renormaliseres*, således at man blev i stand til at udføre præcise beregninger. Denne forenede elektrosvage teori, som i dag er en del af Standardmodellen, blev formuleret af Glashow, Weinberg og Salam i midten af 1960'erne, og disse 3 fysikere fik selv Nobelprisen i 1979.

## Kvantefeltteori

Elementarpartikelfysikkens Standardmodel udgør en imponerende syntese af meget af det 19. og 20. århundreders fysik, elektromagnetisme, relativitetsteori, kvantemekanik og kernekrafter, herunder svage vekselvirkninger. Kombinationen af relativitetsteori og kvanteteori medfører, at stof og stråling vil optræde som elementarpartikler, der bedst kan beskrives som en slags "knuder" i udbredte kontinuerte felter. De gode gamle bølgefunktioner, der anvendes i den ikke-relativistiske kvantemekanik, kan ikke magte matematisk at beskrive den stadige dannelse og tilintetgørelse af partikler, som skyldes kvantefluktuationer i felterne, og erstattes af en langt mere kompliceret formalisme, kaldet kvantefeltteori.

En sådan kvantefeltteori, *kvanteelektrodynamikken*, for fotoners vekselvirkning med elektroner (og positroner) blev opstillet allerede omkring 1930. Men selv om man derigennem opnåede en formodet korrekt beskrivelse af alle strålingsprocesser, viste det sig hurtigt, at kvantefluktuationer førte til meningsløse resultater, nemlig uendeligheder i form af divergente integraler.

I slutningen af 1940'erne viste Feynman, Schwinger og Tomonaga, at problemet kunne løses gennem en ny matematisk teknik, kaldet *renormalisering*, et arbejde de modtog Nobelprisen for i 1965. Løsningen blev starten til en fantastisk succes. Renormaliseringen gik kort sagt ud på at udtrykke teorien ved den faktisk målelige elektronmasse og -ladning, som inkluderer alle korrektioner fra kvantefluktuationer, i stedet for de "bare" ukendte værdier for disse størrelser. Feynman, Schwinger og Tomonaga viste, at dette lille "trick" fjernede alle divergenserne.

Alle detaljer i atomspektre – inklusive de der skyldes kvantefluktuationer – kunne herefter beregnes med mange betydende cifre, og gennem årene, der fulgte, blev alle eksperimenter bekræftet af teorien. Sammenligningen mellem teori og eksperiment er ført ud i det ekstreme for elektronens anomale magnetiske moment, som i dag kan beregnes korrekt med 10 betydende cifre.

Det gav blod på tanden til noget lignende for de stærke og de svage kræfter. Begge typer vekselvirkninger forekommer i atomernes kerne. De stærke kræfter holder kernerne sammen imod protonernes elektrostatiske frastødning, medens de svage kræfter hovedsagelig kendes fra beta-henfald af kernepartikler. Det er disse kræfters svage styrke, der er årsagen til, at Solen brænder langsomt og roligt.

Frustrationer opstod imidlertid, fordi renormalisationsprogrammet ikke umiddelbart kunne gennemføres for disse kræfter. For de stærkes vedkommende var man endda i 1960'erne tilbøjelig til helt at opgive begrebet kvantefeltteori. Eksperimenter havde påvist en sværm af elementarpartikler, som man ikke anede, hvad man skulle stille op med.

Så meget mere betydningsfuldt oplevedes det genembrud, der skete i begyndelsen af 1970'erne og førte til Standardmodellen. I denne udvikling var 't Hoofts og Veltmans arbejder helt centrale, og nøglebegrebet viste sig at være kvantefeltteorier, der i deres struktur var dybt beslægtede med kvanteelektrodynamikken.



## Gauge-teori

I Maxwell's elektromagnetisme forekommer der en klasse transformationer – kaldet gauge transformationer – af potentialerne, som ikke ændrer på de elektriske og magnetiske felter. Det er for eksempel velkendt, at man kan lægge en konstant til det elektrostatiske potential uden, at det påvirker det elektriske felt. Egentlige gauge-transformationer kan imidlertid være forskellige fra punkt til punkt i rum og tid.

I 1954 havde Yang and Mills vist, at der eksisterede teorier med meget mere generelle former for gauge-invarians end den, der kendes fra elektromagnetismen. Medens den elektromagnetiske gauge-invarians svarer til en abelsk Lie gruppe, så svarer Yang-Mills teorierne til ikke-abelske Lie grupper.

Uden at gennemgå de tekniske detaljer, skal det blot nævnes, at de stærke vekselvirkninger nu beskrives af en sådan ikke-abelsk gauge-teori baseret på gruppen  $SU(3)$ , medens de svage og elektromagnetiske vekselvirkninger beskrives af den sammensatte gruppe  $U(1) \otimes SU(2)$ , hvor den første faktor er abelsk og den anden ikke-abelsk.

I det sidste tilfælde kommer der en yderligere indviklet, teknisk komplikation til, et spontant symmetribrud via den såkaldte Higgs-mekanisme. Men det er denne teori, der endelig blev forstået af den da 25 årige Ph.D. student 't Hooft i 1971, efter at han havde fået en flyvende start af sin vejleder, Veltman, som i årevis havde bekymret sig om disse problemer.

## Standardmodellen

Før 1971 brugte man Fermis teori for svage vekselvirkninger fra 1934, modificeret af Feynman og Gell-Mann i 1956. Den beskrev svage henfald udmærket, men gav kun mening i første tilnærmelse. Kvantekorrektionerne var igen divergente, men kunne ikke som i kvanteelektrodynamikken renormaliseres væk gennem en redefinition af teoriens parametre. Uendelighederne kunne ikke fjernes.

Den bedste fortolkning heraf er, at teorien er ufærdig. Mange tog det som tegn på, at der måtte findes tunge, ladede "intermediære vektorbosoner", kaldet  $W^\pm$ , som skulle bære de svage vekselvirkninger. Sådanne partikler kaldes vektorer, fordi de beskrives ved et vektorfelt med spin 1. Men utallige forsøg på at bygge renormaliserbare teorier for dem slog fejl. Yang-Mills-teorierne var attraktive og indeholdt godt nok ladede vektorbosoner, men de var dømt til at være masseløse, medens de svage kræfters korte rækkevidde fordrede, at de havde en ret så stor masse. Det er den tidligere omtalte gauge-invarians, som er en nødvendig del af Yang-Mills teorierne, som forbyder disse partikler at have masse.

Den skotske fysiker, Peter Higgs (og flere andre) opdagede midt i 1960'erne, at hvis teorien desuden indeholder skalarfelter, som beskriver partikler med spin 0, så kan der opstå et såkaldt spontant brud på

gauge-symmetrien, som tillader, at vektorbosonerne får en masse. Weinberg formodede i 1967, da han opstillede sit detaljerede forslag til Standardmodellen, at den kunne være renormaliserbar, men han var aldeles ikke i stand til at bevise det, og kunne derfor heller ikke angive, hvordan praktiske beregninger skulle udføres.

## Renormalisering

Da renormaliseringsproceduren blev fremlagt lige før 1950, var det en stor sejr for teoretikerne, men alligevel fremstod den ret utilfredsstillende. Den indeholdt divergente integraler, som man hævdede at kunne "skjule" i mellemregninger, så de aldrig optrådte i slutresultater, der direkte skulle sammenlignes med eksperimenter. Det virkede på overfladen perfekt, men de fleste havde dog en lidt ubehagelig følelse af, at noget var fejlet ind under gulvtæppet. Spørgsmålet om det elektromagnetiske bidrag til elektronens masse og ladning forblev jo ubesvaret.

I begyndelsen af 1970'erne viste Ken Wilson, at det var muligt at få en dybere forståelse af renormaliseringsproceduren. Wilson modtog i øvrigt selv Nobelprisen i 1982 for udløbere af dette arbejde.

De matematiske vanskeligheder i en renormaliserbar teori skyldes kvantefluktuationer og optræder typisk som logaritmisk divergente integraler af formen

$$g^2 \int_M^\infty \frac{dp}{p} = g^2 \log \left( \frac{\infty}{M} \right)$$

Integrationsvariablen står her for en partikels impuls eller energi,  $M$  er en karakteristisk masseskala, for eksempel elektronmassen, og  $g$  er en koblingskonstant af samme karakter som elektronens ladning  $e$ .

Resultatet uendelig ( $\infty$ ) er naturligvis noget matematisk sludder. For at gøre teorien matematisk meningsfuld er det nødvendigt først at regularisere, således at alle integraler bliver endelige. Regularisering kan ske på mange forskellige måder. Et af 't Hooft og Veltman's bidrag var at regularisere gennem en analytisk fortsættelse af teorien til komplekse værdier af rumtids-dimensionen. Divergenserne fremkommer da kun i grænsen, når dimensionen går mod 4.

Her skal vi simpelthen systematisk fjerne alle impulser og energier over en vis størrelse  $\Lambda$  fra teorien, således at integralet i stedet bliver

$$g^2 \int_M^\Lambda \frac{dp}{p} = g^2 \log \left( \frac{\Lambda}{M} \right)$$

Uanset hvilken afskæringsprocedure, der benyttes, vil det forandre teorien og effektivt indføre nye vekselvirkninger. Men når den oprindelige teori er renormaliserbar, og kun da, vil de nye vekselvirkninger være af samme form som i den oprindelige teori. I ikke-renormaliserbare teorier vil afskæringsproceduren derimod indføre effektive vekselvirkninger af helt andre former.



Især Wilsons arbejder viste, at det var muligt at gøre teorien uafhængig af afskæringsparameteren  $\Lambda$  ved at lade koblingskonstanterne afhænge af  $\Lambda$ , altså  $g = g(\Lambda)$ . I ledende approksimationsorden viste den nødvendige afhængighed sig at være

$$g^2(\Lambda) \propto 1/\log(\Lambda)$$

og dette gør da netop også ovenstående udtryk endeligt. Gennem omhyggelige undersøgelser eftervistes det, at  $\Lambda$ -afhængigheden – i hvert fald i ikke-abelske gauge-teorier – kunne bestemmes til vilkårlig høj orden. Med et sådant valg af koblingskonstanter bliver alle teoriens fysiske forudsigelser endelige og uafhængige af valget af  $\Lambda$  i grænsen  $\Lambda \rightarrow \infty$ .

### Yang-Mills teorier

For at forstå, hvorledes Yang-Mills teorier afviger fra abelske teorier som kvanteelektrodynamikken, kan man først og fremmest se på, hvilke felter og ladninger, der optræder.

I kvanteelektrodynamikken er der kun én type partikel, elektronen, og ét felt, det elektromagnetiske felt, svarende til fotonen  $\gamma$ . I den simpleste Yang-Mills teori, som benyttes i Glashow-Salam-Weinberg modellen, vil der være to typer partikler, elektron og neutrino, og tilsvarende fire slags felter, der kan koble til ladningerne og omdanne elektron til elektron, elektron til neutrino, neutrino til elektron og neutrino til neutrino.

Disse fire elektromagnetisk-agtige felter svarer til fire partikler, den velkendte foton  $\gamma$ , samt de ladede vektorbosoner  $W^+$ ,  $W^-$  og den uladede vektorboson  $Z^0$ . Nogle af felterne har som det ses ladninger og kobler derfor til sig selv, hvilket gør sådanne teorier langt mere indviklede end kvanteelektrodynamikken.

Der er en dyb analogi mellem gauge-teorier og differentialgeometri. Gauge-teoriens frihedsgrader er til dels "geometriske", ikke numeriske, selv om vi i praksis selvfølgelig ønsker at bruge tal til beregninger.

For at forstå dette kan man betragte et geometrisk objekt, for eksempel en bjergkæde, Alperne, som er vores analogi til en bestemt feltkonfiguration. Landmålere beskriver Alperne ved at kaste et koordinatnet ud over bjergene og angive bunker af tal for koordinatmaskernes placering og bjerghøjden i hver maske. En anden gruppe landmålere ville nok benytte et helt andet koordinatnet – og derfor helt andre tal – til beskrivelse af et og samme geometriske objekt! Det er denne frihed i valget af koordinatsystem, som kaldes gauge-frihed<sup>1</sup>.

Det præcise, matematiske udtryk for friheden styres af en bestemt gauge-symmetri, en Lie-gruppe, der netop kan være abelsk eller ikke-abelsk. Selv om det fysiske indhold i en gauge-teori kun afhænger af "geometrien", så er det nødvendigt i praksis at foretage at

specielt valg af gauge, et bestemt "koordinatsystem". I kvanteelektrodynamikken og især i Yang-Mills teorierne, medfører det, at der indføres nye kunstige hjælpe-felter og dertil svarende vekselvirkninger. Hjælp-felterne optræder kun i mellemregninger og forsvinder i slutresultatet. Ikke desto mindre betyder det, at mellem-resultater kan blive meget komplicerede og afhænger vildt af det gauge-valg, man har foretaget.

### Higgs-mekanismen

I Standardmodellen er der udover elektroner, neutrinoer og deres antipartikler samt de fire gauge-bosoner, også fire Higgs-felter, der formelt svarer til fire spin-0 partikler og betegnes med  $\phi^0$ ,  $\bar{\phi}^0$ ,  $\phi^+$  og  $\phi^-$ .

Normalt er felter nul i rummets laveste energitilstand, vakuum. Men i Standardmodellen er Higgs-felternes vekselvirkning valgt, således at en kombination af  $\phi^0$  og  $\bar{\phi}^0$  er forskellig fra nul i vakuum. Vakuum er altså et kondensat af Higgs-partikler og kombineret med gauge-friheden bevirker dette, at tre af Higgs-felterne opsuges af  $W^\pm$  og  $Z^0$  felterne og derved tildeler disse en masse forskellig fra nul, medens fotonen forbliver masseløs.

Der resterer altså kun én fri komponent af Higgs-feltet, og det er den berømte og eksperimentelt stærkt efterstræbte Higgs-partikel, som endnu ikke er fundet.

### Nobelpristagernes indsats

Det er forhåbentlig blevet klart, at de principielt ganske smukke Yang-Mills-teorier udsættes for voldsomme matematiske skamferinger, når man både skal vælge en gauge og indføre et vakuum-kondensat, og oveni skære divergenserne af.

Årets Nobelpristagere indførte en lang række virtuose matematiske tricks, der tillod dem at behandle disse komplikationer langt mere elegant end tidligere. På et vist tidspunkt kunne de for eksempel bevise teoriens renormaliserbarhed for et bestemt gauge-valg, men det var uklart om denne formulering af teorien tillod en sædvanlig kvantemekanisk sandsynligheds-fortolkning.

I en anden gauge var denne fortolkning temmelig klar, men ikke renormaliserbarheden. Det blev derfor vigtigt at forstå, hvordan mellemregninger afhænger af gauge-valget, specielt at verificere, at de fysiske størrelser, som forekommer i slutresultatet, ikke gør det. I formalismen udtrykkes dette gennem en række relationer, kaldet Ward-identiteter, som bruges ved transformation mellem forskellige gauge.

Et nyttigt værktøj til at holde styr på denne enormt komplicerede formalisme var et computerprogram, kaldet SCHOONSHIP, som var i stand til at udføre symbolske beregninger. Programmet blev egenhændigt udviklet af Veltman i 1960'erne og var netop i begyndelsen af 1970'erne blevet så stabilt, at en del forskere begyndte

<sup>1</sup> Ordet 'gauge', som udtales gæjtsj har forskellige betydninger på engelsk, heriblandt 'kalibrering', 'instrumentviser' og 'spor-vidde'.



at stole på det som en støtte til deres beregninger. Programmet har været normdannende for en del senere programmer af denne art, heriblandt det berømte Mathematica.

Et andet uhyre nyttigt værktøj viste sig at være udviklingen af den ovennævnte særdeles bekvemme afskæringsmetode, kaldet dimensional regularisering. De to prismodtagere indførte en præcis matematisk teknik til beregning af de indgående integraler for ikke-heltallige værdier af rum-tid-dimensionen. Denne teknik respekterer i modsætning til tidligere kendte afskæringsmetoder både Lorentz-invarians og gauge-invarians og er i dag en standardmetode, som indgår i samtlige nyere lærebøger om kvantefeltteori.

### Konkrete resultater

Takket være 't Hooft og Veltman blev hele Standardmodellen udstyret med en art sundhedsattest. Det gælder ikke alene for den elektrosvage Glashow-Salam-Weinberg model, men også for kvantekromodynamikken.

I den elektrosvage teori stemmer de fleste resultater forbavsende godt med den simpleste tilnærmelse. En af de største succeser er forudsigelsen af  $Z^0$ -partiklen med en masse på 91,19 GeV og en totalbredde på 2,50 GeV. I LEP acceleratoren ved CERN er denne partikel masseproduceret gennem snart ti år. Præcisionsmålinger er udført på mere end tyve forskellige størrelser og sammenlignet med teorien. Beregnes f.eks. partialbredden for  $Z^0$  henfald til stærkt vekselvirkende partikler, hadroner, fås i første tilnærmelse værdien 1,66 GeV, sammenlignet med den eksperimentelle værdi på  $1,743 \pm 0,002$  GeV.

De kvantekorrektioner, som 't Hooft og Veltman har lært os at beregne, korrigerer resultater til perfekt overensstemmelse med data. Men alle disse korrektioner afhænger af kvarkmasser, specielt af den indtil 1995 ukendte top-masse. Desuden afhænger de en smule af Higgs-massen. Det er i sig selv en triumf, at man overhovedet kan få tyve eller flere resultater til at passe med blot én ubekendt, nemlig top-massen (kombineret med et rimeligt gæt på Higgs-massen). Det er desuden en triumf, at top-massen forlanges at skulle være  $173 \pm 7$  GeV, og at de seneste målinger giver  $175 \pm 5$  GeV.

Som nævnt har 't Hoofts og Veltmans arbejder også

betydet uhyre meget for udviklingen af kvantekromodynamikken. Denne efterhånden velforprøvede teori har dog endnu ikke udløst en Nobelpris. En af grundene kan have været, at 't Hooft i 1972 ved et lille møde i Marseille kundgjorde, at han havde opnået et meget betydningsfuldt resultat for denne teori. Han blev stærkt opfordret til at offentliggøre det, men undlod alligevel at publicere det med det samme. Andre opnåede hurtigt derefter det samme resultat og publicerede deres beregninger. Denne uklarhed i prioriteten har skabt en lidt prekær situation, som måske nu er blevet bragt af vejen. Den næste Nobelpris i teoretisk højenergifysik kan meget vel blive givet for kvantekromodynamikken.

### Referencer:

- [1] [www.nobel.se/announcement-99/physics99.html](http://www.nobel.se/announcement-99/physics99.html)



Benny Lautrup lektor ved Niels Bohr Institutet



Jens Lyng Petersen lektor og afdelingsbestyrer ved Niels Bohr Institutet

## Kvant skifter navn

Da det første nummer af Kvant så dagens lys i juni 1990 i et samarbejde mellem Dansk Fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse betød det samtidig, at SNU tog afsked med sit tidsskrift gennem 87 år, Fysisk Tidsskrift. Navnet "Fysisk Tidsskrift" har imidlertid levet videre som Kvants undertitel lige siden.

Det nye samarbejde med Astronomisk Selskab betyder, at AS ikke længere vil bruge Astronomisk Tidsskrift som medlemsblad,

men tidsskriftet, der er igang med sin 32. årgang, vil dog fortsætte som et rent svensksproget blad.

For at markere det nye samarbejde har Kvant ændret navn, således at undertitlen nu er "Tidsskrift for Fysik og Astronomi".

Vi håber, at alle de tre selskabers medlemmer vil tage godt imod det nye blad og også gerne bidrage ved at skaffe nye abonnenter. Brug f.eks. kuponen på side 47.



# Total solformørkelse i Bulgarien d. 11. august 1999

Michael Cramer Andersen, Astronomisk Observatorium, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik

Siden jeg som lille dreng læste "Tintin i Soltemplet" har jeg drømt om, at opleve en total solformørkelse med egne øjne. De tre hovedpersoner bliver reddet fra at blive brændt på Inkaernes bål da Tintin kender tidspunktet for indtræffelsen af en total solformørkelse.



Figur 1. Tintin, Tournesol og Haddock på Inkaernes bål.

Det følgende er en beretning om de astronomiske, meteorologiske og psykologiske forhold der gør sig gældende under observationen af en total solformørkelse. Forfatteren var deltager i Tycho Brahe Planetariets tur til Bulgarien med det formål, at observere den totale solformørkelse d. 11. august 1999.

Lad os starte den dag hvor turen gik op til den lille by Schabla nogle kilometer fra den rumænske grænse og ca. 50 km nord for byen Varna der ligger ud til kysten af Sortehavet. Vi kørte fra hotellerne kl. 5.30 om morgenen og så Solen stå op over bjergene vi kørte i. Der var en stemning af forventning da de fem busser med danskere ankom til stranden udenfor Schabla. Med de fire busser der allerede var ankommet, med bl.a. rejselederen Henrik Glinthborg fra Tycho Brahe Planetariet, var vi i alt 452 danskere som skulle se det smukke naturfænomen under de bedst tænkelige betingelser: Den bagende sol skinnede fra en skyfri blå himmel.

## Solpletter på Fotosfæren

En del havde monteret solfiltre på deres håndkikkerter og mindre teleskoper og der blev kigget på de 3 solpletter som var synlige på solskiven.

Lyset fra Solen stammer fra det atmosfærelag der hedder *fotosfæren* (foto=lys på græsk) som er ca. 5800 K. Solens aktivitet følger mønstret i de kaotiske magnetfelter som genereres inden i Solen ved komplicerede dynamo processer. Solpletterne er områder i fotosfæren som er ca. 1500°C koldere end omgivelserne, derfor forekommer de mørke. Solpletterne optræder der hvor

magnetfeltlinjer "stritter ud af overfladen".

## Kromosfæren og Koronaen

Et par stykker fra Københavns Astronomiske Forening (KAF) viste solen frem gennem et 30 cm stort teleskop med specialfilter. Hvis man var villig til at stå i kø i 10-15 min. kunne man opleve en glødende rød sol. På overfladen sås de 3 solpletter og langs kanten var der røde skyer af varm gas der blev slynget ud fra solen i det atmosfærelag der kaldes *kromosfæren*. Disse mindre udbrud fra Solen kaldes prominenser og de kan enten være rolige eller voldsomme. De mindre udbrud af gas lander på Solens overflade igen – trukket ned af magnetfelterne. De større udbrud kaldes protuberanser og kan nå langt ud i rummet.

Det udslyngede stof er med til at opbygge den tynde ydre atmosfære, *koronaen* hvorfra solvinden også kommer. Solvinden består af ladede partikler der forlader Solen med hastigheder på 400-700 km/s. Solvinden er både ansvarlig for kometernes haler og Nordlys.

Hvor solpletterne var velkendte fordi de kan observeres relativt let til daglig så var det p.g.a. det specielle  $H_{\alpha}$ -filter (som kun slipper lys igennem omkring brints 656.3 nm-linje), at vi kunne se aktiviteten i kromosfæren. Men hvad vi endnu ikke kunne se var den tynde og varme korona. Den strækker sig millioner af km ud i rummet – flere solradier – og temperaturen når op på flere millioner grader.

Både kromosfæren og koronaen overblændes normalt af fotosfærens kraftige lys. Men det var ikke desto mindre disse to fænomener vi skulle se med det blotte øje under den totale fase. Ville de 2 minutter og 21 sekunder, totaliteten varede, være nok?

## Stjerner, Planeter og Jordens bevægelse

Det ville blive ret mørkt under totaliteten og så var det godt at indprente sig hvad man skulle kigge efter og hvor. Der var hængt et stjernekort op som vi studerede i ventetiden. De indre planeter, Merkur og Venus, ville stå h.h.v. til højre og venstre for Solen.

I starten af august står Solen i stjernebilledet Løven med bl.a. den klare stjerne Regulus. Ellers var der de klare stjerner Castor og Pollux som har givet navn til Tvillingerne hvor solen passerede i juli. Det ser ud som om, Solen vandrer gennem alle tolv stjernebilleder i Dyrekredsen i løbet af et år, men i virkeligheden er det Jorden der bevæger sig én gang rundt om Solen på samme tid. Jordbaneplanet kaldes Ekliptika og går således gennem Dyrekredsen.

Det er kun hver gang det er nymåne (Månens bagside er oplyst) og Månens baneplan passerer Ekliptika,



at der er mulighed for en total solformørkelse. Da Månens plan hælder ca. 5 grader i forhold til Jordens plan sker det ikke med en måneds mellemrum men fra 6-18 måneders mellemrum.

### **Eddington og Einsteins historiske solformørkelse**

Det var under en total solformørkelse i 1919 at man første gang fik målt og bekræftet en forudsigelse af Albert Einsteins generelle relativitetsteori. Den forudsiger at lyset fra en fjern stjerne vil blive afbøjet lige uden-om solen som er massiv nok til, at man kan måle hvordan den krummer rummet. Men effekten er så lille – omkring  $1/2000$  grad ved Solens rand – at man skal lave nøjagtige fotografiske optagelser for at måle den. Det var det astronomer Arthur Eddington gjorde i 1919. Det var netop denne bekræftelse på en forudsigelse fra den generelle relativitetsteori, der gjorde Einstein til den mest berømte fysiker i verden.

Selv om folk der har set totale solformørkelser anbefaler, at man ikke "spilder tiden" med at se efter stjerner, planeter – eller måske en komet der er på besøg i det indre solsystem? – men blot koncentrerer sig om Solens korona og kromosfære, så syntes jeg det kunne være sjovt hvis man kunne se en klar stjerne nær Solen og tænke på at den i virkeligheden befandt sig i en lidt anden retning.

Ventetiden blev brugt på at diskutere astronomi. Omkring klokken 12 spiste vi en let frokost, det var efterhånden blevet uudholdelig varmt og alle svedte.

### **Første kontakt mellem Månen og Solen**

Nu begyndte forestillingen for alvor. Folk stillede sig op alle vegne, på trapper, på græsset, siddende, stående og liggende. Der var spænding om hvorvidt Månen ramte solskiven til tiden, for Månen var ikke synlig idet Månens bagside som vendte direkte mod solen jo får alt lyset ved nymåne. Stævnemødet mellem de to himmellegemer blev fulgt af mange hundrede mennesker med blå, gule og sorte formørkelsesbriller. Det gav en international stemning. De sorte var danskere som alle var med Tycho Brahe Planetariets arrangerede tur, de blå var lokalbefolkningen fra Bulgarien og de gule har været japanske turister. Stemningen var naturligt løftet da første kontakt skete som beregnet klokken 12:46:38. Folk havde stillet deres ure i dagens anledning, jeg havde i forvejen et præcist "atomur" som dagligt fik radiosignaler fra et rigtigt atomur i Frankfurt.

Nu startede den lange ventetid. Vi var rejst helt fra Danmark til Sortehavskysten og tålmodigt ventet knap et år fra rejsen blev bestilt. Nu var dagen oprundet, den 11. august 1999 – årtusindets sidste chance for at opleve en total solformørkelse. Formørkelsen var startet og der var 1 time og 25 minutter til maksimum. De næste knap halvanden time ville ikke være anderledes end de partielle solformørkelser man ofte har været vidne til i Danmark, senest d. 13. oktober 1996 hvor den var omkring 68% formørket. Ville det være pengene værd?

### **Formørkelse ved højlys dag**

Når det pludselig bliver mørkt bliver dyr forvirrede. Vi havde hørt, at fugle stopper med at synge og flyver hjem til deres reder, bier flyver forvirrede rundt, kører går hjem til stalden fordi de tror det er aften og hønsene går ind på deres pinde. Dyrene handler jo blot efter deres instinkter der altså i høj grad afhænger af sollyset. Vi var jo forberedt på det. Ville vi blive ligeså forundrede?

### **Formørkelsesprocenten og lysniveauet**

Der var en over 5 meter lang kø ved solteleskopet. De fleste ventede bare på totaliteten men kiggede af og til op på Solen gennem brillerne. Hvornår ville man bemærke et fald i lysstyrken? Ved 95% eller måske først 99% formørkelse? Dette var der lidt uenighed om. Da skyggen var nået halvvejs og Månen nåede helt ind til centrum af solskiven, var der lidt over 42 minutter til totaliteten indtraf. Hvor meget var der egentlig dækket af solskivens areal? Det måtte være lidt over  $1/3$ . Vi opgav dog at foretage de nøjagtige beregninger i hovedet i den bagende sol, det var trods alt for varmt.

Øjets pupil er i øvrigt så fint indrettet, at den åbner sig efter lysniveauet og således kan indstille sig på lysniveauer der er mange tusinde gange svagere end almindeligt dagslys. En reduktion på 35-40% var derfor helt ubetydelig. Kun en elektronisk lysmåler ville have registreret det.

### **Skyggens hastighed**

Det var en sjov fornemmelse at stå midt i centerlinien af formørkelseszonen. Her ville Månens kerneskygge om kort tid passere og gøre dag til nat og nat til dag i en cirkel der var 120 km i diameter. Skyggen ville passere os med over 3000 km i timen og totaliteten varede kun lidt over to minutter. En total solformørkelse kan maksimalt vare  $7\frac{1}{2}$  minut set fra en plet på Jorden. Varigheden kan forlænges kunstigt med jettfly der kan flyve med overlydhastighed, f.eks. en Concorde.

Det er lidt forunderligt, at naturen har indrettet sig så Månens diameter og Solens diameter er lige store på himlen – ca. en halv grad. Der kan altså ligge 720 fuldmåner efter hinanden, som perler på en snor, hele vejen  $360^\circ$  rundt. Da Månen er 29.5 døgn, eller 708 timer, om at bevæge sig én gang rundt om Jorden, tager det omkring en time for Månen at flytte sig netop én månediameter. Det nøjagtige tal kræver indregning af Jordens rotation, men det var i grove træk denne time vi ventede på skulle passere. Hvor præcist var Månens og Solens størrelse på himlen egentlig lig hinanden?

### **Miraklet med Månens afstand**

Månens diameter er 3476 km og Solens diameter er 1.38 mio. km men alligevel er de lige store på himlen. Månen er ca. 400 gange mindre end Solen i virkeligheden men til gengæld er Solen knap 400 gange længere væk. Var dette et tilfælde? Har det altid været sådan?



Som astronomistuderende vidste jeg, at Månen er på vej væk fra Jorden med ca. 5 cm om året. Det kan man måle ved hjælp af laserlys der reflekteres af de spejle, som astronauterne opstillede på Månen for 30 år siden. Det lyder ikke af meget, men på de 4.6 mia. år som Sol-systemet og Jord-Måne systemet har eksisteret bliver det alligevel til over 200.000 km eller godt halvdelen af middelfstanden til Månen, 384.400 km. Månen har altså, dengang Jorden var ung, været halvt så langt væk og dermed dobbelt så stor på himlen. Samtidig roterede Jorden hurtigere rundt, et døgn varede kun 11 timer. Nedbremsningen af Jordens rotation og Månens omløb skyldes tidevandskræfterne, d.v.s. gnidningen mellem vandmasserne og Jordens overflade. Vi lever altså på et heldigt tidspunkt hvor forholdene er optimale for totale solformørkelser. Om nogle få hundrede millioner år vil Månen være så langt væk, at der højst er mulighed for ringformede solformørkelser.

Et mirakel eller bare et heldigt sammentræf? Hvem ved, det er i hvert fald rart at kende sammenhængen. Der er faktisk intet andet sted i Solsystemet med tilsvarende forhold, hvor Solen kan blive formørket af en anden ligeså perfekt kugle med den rette størrelse og afstand.

## Vejret

Hvad der nok var mere heldigt lige nu var, at vejret hvor vi stod var helt perfekt. Ikke en sky på himlen, hvilket der heller ikke havde været dagen før. Så vejret bekymrede os ikke synderligt. Det var til gengæld ikke de bedste beretninger der kom fra Danmark og det øvrige Europa der havde overskyet og regn. De skulle være heldige for at få et glimt gennem huller i skyerne. Vi var taknemmelige for, at vores rejsearrangør Henrik Glintborg havde valgt Bulgarien med de bedste vejrudsigter. Han havde haft daglig kontakt med DMI de sidste fjorten dage for at følge vejr-situationen. Men med en blanding af fastlandsklima og kystklima har området ved Sortehavet i Bulgarien stabilt og varmt vejr i august måned. En del af mine venner befandt sig rundt omkring i Europa: Sydengland, Nordfrankrig, Luxemburg, Sydtysskland, Ungarn og Rumænien.

Det sted hvor totaliteten ville vare længst tid var i Rumænien hvor den nåede op på 2 min og 23 s. Vi ville opleve totaliteten 2 sekunder kortere fordi Månens skygge bevægede sig hurtigere og hurtigere efterhånden som den kom om på "siden" af Jordkloden. Når den havde passeret Tyrkiet, Iran og Irak, på den anden side af Sortehavet, ville den passere over Indien med over 7000 km i timen og ende i det Indiske Ocean hvorefter skyggen ville pege ud i det mægtige verdensrum og ikke længere genere nogen. Det ville være muligt at se denne mørke plet på Jorden fra rumstationen Mir eller via vejr-satellitter.

## Tegnefilm og gåsehud

I formørkelsesbrillerne ser man en orangegul sol på

sort baggrund. Denne silhouet-tegnefilm giver en særlig psykologisk effekt. Gennem knap halvanden time vænner man sig til, at skyggen vokser og vokser ind foran solen. Det er temmelig forudsigeligt. De meteorologiske forandringer der nu indtraf kunne derfor godt komme bag på én.

## "Månevinden"

Knap ti min. før totaliteten skulle indtræffe blæste der en kold vind op og i de følgende minutter blev der registreret et temperaturfald på 10-15 grader. Det gjorde godt i den bagende sol men det var også lidt uhyggeligt. Samtidig var det begyndt at blive mørkere, lidt mere dystert. Jeg fik gåsehud da jeg tænkte på, at skyggen jagede imod os med 3000 km/t. Det var nok den kølige vind. Man kan måske nok regne ud hvornår og hvor dette "naturens store maskespil" finder sted, men at stå der og vente sammen med flere hundrede andre mennesker i spændt forventning var noget andet. Om lidt ville vi stå midt i Månens kerneskygge, så ville Månen blokere fuldstændig for det blændende lys fra fotosfæren. Vi ville betragte koronaen der strækker sig flere millioner kilometer ud i rummet og fylder flere gange solens diameter.

## Frygten for det tynde segl

Det var som om, tiden accelererede mens det magiske tidspunkt nærmede sig frygtindgydende hurtigt. I det sidste minut så man i brillerne den ganske tynde bue af solskiven blive tyndere og tyndere. Den lignede et månesegl. Buen blev mindre og mindre fra hver side og man blev pludselig fyldt med frygt. Ville den virkelig forsvinde helt?

## Diamantringen

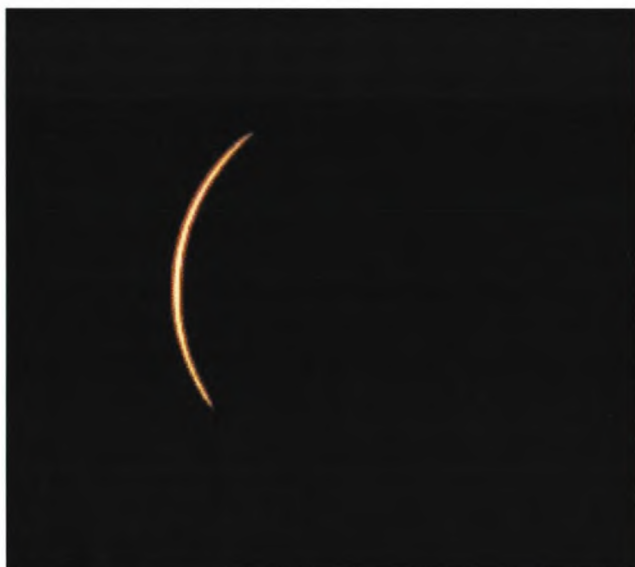
Det sidste lys fra solen forsvandt og der var intet at se i brillerne ud over mørke. Det var sikkert at tage dem af. Det syn der mødte mig var fantastisk. Der var en række pletter af skærende hvidt lys langs kanten af Månens ujævne overflade. De forsvandt hurtigt fra begge ender indtil der kun var en enkelt lysende plet tilbage. Det var diamantringeffekten – Solens lys passerer gennem et enkelt månekrater eller en månedal. Mens dette smukke syn blev hængende nogle sekunder kunne man efterhånden se en tynd ring af lys lige udenom Månen og lyspletten lignede virkelig en gnistrende diamant. Det blændede en del i øjnene og snart forsvandt også dette lys.

## Totaliteten

Under totaliteten kunne man roligt iagttage, at koronaen voksede ud fra og omkransede Månens skive. Efter de intense sekunder med buen der forsvandt og diamantringen der overraskede én, var det som om tiden stod stille. Det var dette syn vi havde rejst for at opleve og havde ventet så tålmodigt på. Det levede op til alles



forventninger. Det var forbløffende at se Månen hænge som en kulsort skive på en mørkeblå himmelbaggrund. Det havde lige været klart solskin få minutter forinden. Øjet vænnede sig langsomt til det kraftige hvide lys som omkransede den formørkede sol. Kontrasten var stor mellem koronaens klare hvide lys og den mørke Måne. Man kunne også se de lyserøde skyer i kromosfæren langs randen af solen. Det skulle fotograferes selv om mit kamera aldrig ville kunne gengive dette fantastiske syn. Det er én af de ting der skal opleves med egne øjne.



**Figur 2.** Solens tynde segl forsvinder.

### Nattehimlen

På den mørke himmelbaggrund var Venus meget tydelig lidt nede til venstre for Solen. Jeg kiggede efter Merkur og de klare stjerner men kunne ikke se dem, måske fordi solen stod så højt på himlen, 59 grader, at det ikke blev rigtig mørkt? Et hurtigt blik rundt omkring afslørede, at lyset havde ændret karakter. Personerne optrådte i et sølvagtigt koldt lys næsten som ved fuldmåne eller ved stroboskopllys. Kiggede man ud langs horisonten så man at den mørkeblå himmel fortonede sig i lysere blå farver der kom udenfor formørkelsesbæltet hvor det stadig var dagslys.

### Koronaen

Det første minut gik langsomt mens vi betragtede den langsomt foranderlige korona. Koronaen fyldte overraskende meget, 3-4 gange solens diameter og den var ret uregelmæssig med store huller som nok skyldtes magnetfelterne ved polerne. Koronaens store udstrækning viste, at Solen er en stjerne med større rækkevidde end man umiddelbart antager. En rejsefælle udbrød: "Det er s'gu godt lavet".

### Den mørke skygge i midten

Det var dog alligevel denne mørke, ubevægelige skive – Månen – der dækkede for Solen som var mest

fascinerende. Jeg kiggede koncentreret på den mørke skygge som så ud til, at hindre udsynet til et fantastisk og meget tiltrækkende lysskue. Men denne lyskilde var jo Solen og den var ikke til at kigge på. Månen gjorde det netop muligt, at se det sarte lys fra koronaen og kromosfæren. Skyggen lignede et "hul i himlen" eller et sort hul der holdt alt lys tilbage men tillod bagvedliggende lys at passere udenom. Det var et meget usædvanligt syn.



**Figur 3.** Diamantringeffekten. Foto: ESO.

### Prominencer i Kromosfæren

Tiden var knap. Allerede da det første minut var gået begyndte nervøsiteten igen. Synet skulle primært nydes med det blotte øje, men der var endnu tid til at betragte aktiviteten i solens kromosfære med håndkikkerten. Det var svært at få et roligt billede men jeg nåede at se de små lyserøde skyer, prominenserne, langs randen af skiven. Jeg tog endnu nogle billeder (som alle blev rystede), det hele gik så hurtigt. Pludselig var de 2 minutter og 21 sekunder gået og lyset brød igennem et månekrater. Diamantringen viste sig endnu engang.

### Dagslys igen

Det føltes som om overgangen fra mørke til lys var meget hurtigere end overgangen fra lys til mørke. Det var fantastisk at iagttage hvordan lysniveauet steg til dagslys på 30 sekunder. Måske var det fordi øjets pupil var en smule forstørret og opfattede det skarpe tilbagevendende sollys ekstra stærkt. Det var i hvert fald godt at jeg ikke havde kikkerten for øjnene, det ville have brændt hul i nethinden. Men det var stadig et mærkeligt sølvgråt skær der var over de omkringstående mennesker. Skyggerne var endnu meget skarpe og det gav virkeligheden mere dybde. Totaliteten var overstået, det første lys var brudt igennem en af Månens dale og vist diamantringen i nogle sekunder før der slap så meget lys igennem, at man ikke kunne se på Solen længere.

Nu var der jubel i den forsamlede menneskemængde og de første begejstrede glædesudbrud blev udvekslet.



En blanding af forundring og beundring over hvad naturen kunne fremvise. Brian, en ung astronom der er studerende ligesom jeg, fortalte at det var "flottere en nordlys". Det havde han set i 35 graders frost på Grønland. Her stod vi i godt 35 plusgrader og det var tydeligt at varmen var vendt tilbage. Der var blevet registreret et temperaturfald på næsten 15 grader.



**Figur 4.** Koronaen med aktivitet i kromosfæren og den mørke skygge i midten. Foto: ESO.

### Ud af skyggen

Månens kolde skygge var passeret og de heldige der stod på en af klitterne kunne se skyggen bevæge sig ud over Sortehavet mod Tyrkiet. Peder, en anden astronomistuderende, beskrev det som en lodret søjle eller kegle af mørkere himmel som fortonede sig og blev lysere efterhånden som den forsvandt. Hvis man stod på en højderyg der lå nord/syd ville man både kunne se skyggen komme imod én og bevæge sig væk bagefter.

### Glæde, utilstrækkelighed og ærefrygt

Et blik på Solen med formørkelsesbrillerne overbeviste os om at Månen var ved at trække sig tilbage. Solen havde overlevet truslen og meget af det vi havde oplevet ville gentage sig i omvendt rækkefølge den næste halvanden time. Forventningerne var nu afløst af lettelse. Folk kiggede af og til op på Solen for at sikre sig, at Månen virkelig trak sig væk igen. Der var en stemning af forundring over det netop passerende. Der havde været så meget man skulle lægge mærke til og så kort tid. Man kunne slet ikke nå at vænne sig til det fantastiske syn og det var en følelse af at man kun var blevet forundt et kort øjeblik, et lille glimt, af noget meget storslået og smukt. Men havde man haft rigeligt med tid er jeg overbevist om, at man godt kunne vænne sig til det. Måske hvis den varede de maksimale  $7\frac{1}{2}$  minutter? De godt 2 min. fik det til at virke mere intenst.

Vi var mange der havde set det samme, men ikke to havde fået det samme ud af det. Ligesom en diamant har mange facetter, kan man ikke se dem alle på engang. Der var en følelse af magtesløshed eller utilstrække-

lighed overfor de mange fænomener der optrådte samtidigt, man følte sig ret ubetydelig som menneske. En ærefrygt overfor Naturen man kun kan beskrive med udtrykket "Sense of Wonder".

Nu havde jeg med egne øjne set, hvordan Solsystemet fungerede og fået bekræftet, at naturen var mere magtfuld end mennesket. Meget kan vi kontrollere, men vi kan endnu ikke kontrollere himmellegemernes bevægelser.

Man kan forstå, at de gamle kulturer frygtede for fremtiden når deres livgivende lyskilde blev "spist af en drage" og senere genfødt. Det var trods alt et herligt gensyn da Solen vendte tilbage.



**Figur 5.** Prominencer som man godt kunne betragte i håndkikkert. Foto: ESO.

### Engang til!

Gunner der oplevede det for tredje gang (og var nået op på 12 min. totalitet) sagde, at der var noget specielt ved hver af dem. Man kunne ikke rigtig sammenligne dem. Flere begyndte at tale om den næste totale solformørkelse "Afrika år 2001" som varer længst tid i Angola. Mange havde allerede T-shirts på med påskriften "Bulgaria, Total Eclipse August 11th 1999". Enkelte bliver helt "høje" af oplevelsen og rejser verden rundt for at opleve det igen. Jeg vil nu se tiden an og vente nogle år. Et godt bud på en total solformørkelse der



også varer lang tid (over 6 min.) er "Kina år 2009". Så er der noget tid at glæde sig i og spare op!

### Afslutningen

Der blev stadig udvekslet indtryk en time efter da champagnen var drukket. Men udstyret var pakket ned da fjerde kontakt nærmede sig kl. 15:33:28 hvor alles blik var rettet mod Solen igen. Da Månens skygge forlod solskiven blev der klappet som tak for forestillingen.

Først da vi kom hjem på hotellerne om aftenen hørte vi om det dårlige vejr i resten af Europa. Mange var taget til Tyskland og her havde solen vist sig gennem huller i skyerne, men i de kritiske 10 min. omkring totaliteten havde der været en sky for solen. Det var det samme mange andre steder i Europa, så vi havde valgt det helt rigtige sted. Godt nok kan begiven-

heden forudberegnes med sekunders nøjagtighed, men vejrudsigterne vil altid være usikre indtil det er for sent at planlægge turen.



*Michael Cramer Andersen er specialestuderende ved Astronomisk Observatorium, Niels Bohr Institutet for Fysik, Astronomi og Geofysik.*

---

## Tilmeldingsblanket - DFS Årsmøde 2000

**DFS (IAF og KIF årsmøder). Se også omtalen side 44-45.**

Navn: \_\_\_\_\_  
Institut: \_\_\_\_\_  
Adresse: \_\_\_\_\_  
Postnr. og by: \_\_\_\_\_  
Telefon: \_\_\_\_\_ E-mail: \_\_\_\_\_

Tilmelding her gælder deltagelse i DFS-årsmødet 8.-9. juni 2000 samt alle måltider fra torsdag formiddag til fredag eftermiddag. Bemærk, at DFS-medlemmer får rabat på deltagergebyret.

- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på enkeltværelse; DFS-medlem; 1.925 kr.
- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på enkeltværelse; ikke-medlem; 2.250 kr.
- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på dobbeltværelse; DFS-medlem; 1.675 kr.
- ☐ Deltager (incl. Ph.D. studerende) med overnatning på dobbeltværelse; ikke-medlem; 2.000 kr.
- ☐ Studerende med overnatning på delt tre-sengs værelse; DFS-medlem; friplads eller 1.400 kr.
- ☐ Studerende med overnatning på delt tre-sengs værelse; ikke-medlem; friplads eller 1.475 kr.
- ☐ Deltager (også studerende) uden overnatning; DFS-medlem; 1.200 kr.
- ☐ Deltager (også studerende) uden overnatning; ikke-medlem; 1.400 kr.
  
- ☐ Jeg ønsker bustransport mellem station og hotel.

Tilmelding her gælder deltagelse i KIF-årsmødet onsdag den 7. juni 2000 samt frokost og eftermiddagskaffe. Overnatning er natten mellem onsdag og torsdag (incl. morgenmad).

- ☐ Deltager med overnatning på enkeltværelse; 1.100 kr.
- ☐ Deltager med overnatning på dobbeltværelse; 900 kr.
- ☐ Deltager uden overnatning; 275 kr.

Denne blanket sendes senest 27. marts 2000 til Hotel Nyborg Strand, Vedr. DFS2000, 5800 Nyborg. Bemærk, at tilmelding kan også ske via DFS's hjemmeside [www.nbi.dk/dfs](http://www.nbi.dk/dfs). Betaling for deltagelse skal indbetales til Hotel Nyborg Strand på Girokonto 801-9231 inden årsmødet.



# KVANT-nyheder

Redigeret af Michael Cramer Andersen

## KVANT-nyheder på WWW

Der findes en WWW-version af nyhederne hvor *links* er markeret: [www.nbi.dk/dfs/ny/](http://www.nbi.dk/dfs/ny/)

## Ny planet i det ydre solsystem?

Der er måske en ekstra 10. planet i vores solsystem, 100-1000 gange længere ude end Pluto, med en masse på flere gange Jupiters og en periode på ca. 6 mio. år.

Det hviler på perturberede baner af 13 kometer som en engelsk astronom, John Murray, har regnet på gennem nogle år. Argumenterne er samlet i en artikel i "Monthly Notices of The Royal Astronomical Society" (se nedenfor).

En anden astronom, John Matese, finder noget lignende: af de kometer der kommer fra det yderste af Sol-systemet (Oort-skyen) er der en svag overvægt der kommer fra afstanden 30.000 til 50.000 AE (en astronomisk enhed 1 AE= 150 mio. km). Det svarer til ca. 0,5 lysår.

Problemet er imidlertid, at en sådan planet ikke vil have en stabil bane over længere tid og astronomerne foreslår derfor, at den er blevet indfanget fra en stjerne der er passeret tæt forbi Solen. De mener også at kunne afgøre positionen af den "hypotetiske planet". Astronomer der vil lede efter den skal have et teleskop der når ned til 23. størrelsesklasse og søge i retningen: RA 20h 35m, Dec. +5°.

Kilde: John Murray: "Arguments for the presence of a distant large undiscovered Solar system planet", Mon. Not. R. Astron. Soc. 309, 31-34 (1999). "New Scientist" d. 16/10-99.

## Ørsted-målinger sætter ny standard

Den 1. november afleverede forskere fra Ørsted-teamet en revideret model for Jordens magnetfelt, baseret på præcisionsmålinger fra Ørsted satellitten. Denne model skal erstatte den kun en måned gamle model afleveret 1. oktober, en model som blev godkendt af IAGA (International Association of Geomagnetism and Aeronomy).

"Den nye forbedrede model forventes at blive godkendt som den næste standard, IGRF 2000, som tages i brug 1. januar" udtaler Nils Olsen fra Dansk Rumforskningsinstitut. IGRF står for 'International Geomagnetic Reference Field' og bruges bl.a. til navigation (søkort) og eksploration (f.eks. olieeftersøgning).

Ørsted satellitten, der blev opsendt 23. februar 1999, begyndte allerede fra marts måned, at måle styrken af Jordens magnetfelt med skalarmagnetometret placeret yderst på instrumentbommen. Der har imidlertid været problemer med tidsstemplingen af målingerne i enkelte

instrumenter så retningen hidtil ikke kunne bestemmes med den ønskede nøjagtighed. Det er vektormagnetometret og stjerne kameraet der tilsammen gør det muligt, at bestemme retningen af magnetfeltet. Den sidste fejl blev fundet d. 25/9 og nu er målingerne bestemt med en usikkerhed på 5 nano Tesla.

Modellen fra 1/11/99 er baseret på 23.000 skalarpunkter (foretaget i perioden 16/3-25/9) og 4050 vektor triplets (foretaget i perioden 10/5-25/9). Jordens interne felt (indenfor Jorden) er i modellen beskrevet ved sfærisk harmoniske funktioner ekspanderet til 13. orden. Det eksterne felt (udenfor Jorden) er kun bestemt til 1. orden. Det eksterne felt bliver bl.a. påvirket af ionosfæriske strømme. Disse er sammen med kosmiske stråler og partikler i solvinden stærkest ved polerne og der er derfor ikke anvendt data fra de polare breddegrader til modellen. Et resultat af den nye standard for Jordens magnetfelt er bl.a. en bedre kortlægning af "Den sydatlantiske anomali".

Kilder og baggrundsinformation: Foredrag ved Nils Olsen i 'Dansk Geofysisk Forening' d. 2. nov 1999.

Nyhedsbulletiner d. 4. okt 1999 på [rummet.dk](http://rummet.dk)

DMI's information om Ørsted Satellitten:

[web.dmi.dk/fsweb/soljord/oersted/welcome.html](http://web.dmi.dk/fsweb/soljord/oersted/welcome.html)

## Informationsteknologi anvendt på biologiske systemer

Forskere på Aarhus Universitet, på Niels Bohr Institutet og i udlandet skal for en 4-årig periode etablere et forskningsfelt på grænsen mellem fysik, biologi og computervidenskab. Projektet *EvALife* har som målsætning: – at udforske selvorganisering og "robusthed" i biologiske systemer; – at identificere strukturmæssige ligheder i komplekse systemer og – at designe hidtil ukendte, biologisk inspirerede, computer teknikker. I slutningen af september blev den første workshop om "Interdisciplinary Concepts for the Analysis of Complex Systems" afholdt.

Mere information på: [www.evalife.dk](http://www.evalife.dk)

## Leoniderne gav 20 stjernesud pr. minut

Hvert år omkring den 17. november passerer Jorden det sted hvor kometen *Temple-Tuttle* hvert 33. år krydser Jordens bane og efterlader rester af støv. Sidste gang kometen var nærmest Solen var i 1998. I år var der forventninger om en "meteorregn" med mange tusinde stjernesud i timen, der alle kommer fra næsten samme punkt i stjernebilledet løven, derfor navnet *Leoniderne*. Der var overskyet over store dele af Danmark, men i et landsdækkende projekt blev Leoniderne observeret fra forskellige danske skoler; 56 havde tilmeldt sig



men omkring 1/3 havde dårligt vejr. Rekorden i antal observerede stjernesud indehaves af Efterskolen Smededal i Mørkov, der observerede 1525 stjernesud hvor de 1379 lå mellem kl. 3 og 4. Nature beretter om 20 stjernesud/min, hvilket svarer til 1200 i timen og svenske astronomer berettede om 1800 i timen omkring maksimum.



**Figur 1.** En fotograf placeret i de Italienske Alper var heldig, at fange en Leonide "boloide" – en ildkugle der efterlod støv som var synligt i 20 min.

Et amerikansk projekt gik ud på, at optage meteorstormen med automatisk video fra en ballon opsendt i stratosfæren. Andre var heldige at fange et *nedslag på Månen*, optaget med et videokamera. Se billederne på "Leonids Live!". Der skulle også være chance for høj aktivitet næste år samme tid.

Kilder: "The Leonids Live!": [www.LeonidsLive.com/](http://www.LeonidsLive.com/)  
Skoleprojektets Leonide sider:  
[www.dlh.dk/mat/fysik/leonider/index.htm](http://www.dlh.dk/mat/fysik/leonider/index.htm);

### Fodboldmolekyler gennem to spalter

Det er velkendt, at (kvante)partikler kan opføre sig som bølger. Fænomenet kan demonstreres ved at udføre Youngs dobbeltspalteeksperiment som giver et karakteristisk interferensmønster med striber med h.h.v. konstruktiv og destruktiv interferens. Hidtil har man kunne udføre forsøget med fotoner, elektroner og neutroner. Tilbage i 1991 lykkedes det at lave interferometri med *hele atomer* og i 1995 med elektronbølger indeni et atom. Nu er det endvidere lykkedes med kulstof-60 "fodboldmolekylet".

En stråle med eksiterede  $C_{60}$  molekyler blev sendt mod et gitter og producerede et diffraktionsmønster. Det samme gjorde  $C_{70}$  molekyler som nu er de største objekter der viser kvanteegenskaber.

Det næste mål må næsten være, at sende en hel kvante-*kat* gennem ni spalter og se om hver 1/9 kat overlever dette? Hvis kvantesuperposition eksisterer for makroskopiske objekter som virus eller større vil konsekvenserne blive betydelige. Hvor går grænsen?

Kilder: AIP Physics News 35 (1991), 234 (1995) og Nature vol 401, "Wave-particle duality of  $C_{60}$

molecules", 14. nov 1999.

### Kina – ny rumfartsnation

Den 21. november sendte Kina en satellit i kredsløb om Jorden. Satellitten vendte tilbage til jordens overflade efter 21 timer og dermed er Kina med blandt verdens rumfartsnationer, der også tæller Indien. Det har indtil videre mest betydning for Kinas nationale stolthed.

### Stand-up fysik en succes

Som opfølgning til teaterstykket "København" på Betty Nansen Teatret blev der tre søndage i november afholdt "Københavnermøder" samme sted. Der var bl.a. ivrige diskussioner mellem to fysikere, en ingeniør, en filosof, en teolog og en robotforsker om emnet "Mod & håb", om fremtidens teknologiske anvendelser af grundforskningen. Der blev diskuteret store emner som "udødelighed", grænsen mellem det levende og det døde, "beskrivelse" kontra "forståelse" af verden, "kommunikation" og "tilfældighed". Der var mange fysikere blandt publikum, men det interessante var, at det tiltrak publikum af en bredere sammensætning.

### VLT afdækker stjernedannelsesproces

Det Europæiske Sydobservatoriums (ESO) nye kæmpeteleskoper, VLT, har observeret et stort antal små nyfødte stjerner i et område med kraftig stjernedannelse: NGC 3603. Det nye er, at lette stjerner kan dannes sammen med tungere og endog meget massive stjerner.

Observationerne er en opfølgning på observationer med Hubble teleskopet, som ikke kunne se de allermindste stjerner, og det er et godt eksempel på hvor godt amerikanske og europæiske astronomer kan samarbejde. I stjerneboblen, som kun er omkring 1 mio. år gammel, findes en "dommedagsstjerne" på 50 gange solens masse. Den ventes at eksplodere som en supernova indenfor 1-1000 år. Det har ikke tidligere været kendt, at stjerner kunne dannes samtidigt, i et stort udbrud, med masser varierende fra 50 gange solens og helt ned til brøkdele af solens. En stjerne skal mindst veje 8% af solen for at fusionsprocesserne kan antændes.

Mange ting er slet ikke velforstået i forbindelse med stjernedannelsesprocesserne og resultaterne her giver et væsentligt bidrag til bedre modeller. Der er desuden observeret sekundær stjernedannelse i det pågældende område. Det foregår i lange søjler af gas i en vis afstand fra de varmeste og mest massive stjerner. De lysstærke stjerner lyser så kraftigt, at nærliggende støvskiver, der eventuelt kunne udvikle sig til planetsystemer simpelthen vil fordampe. Strålingstrykket fra de lysstærke stjerner sætter imidlertid stjernedannelse i gang længere væk og derved kan protoplanetariske støvskiver bedre overleve og danne planetsystemer.

Kilde: ESO news, [www.eso.org/outreach/press-rel/pr-1999/pr-16-99.html](http://www.eso.org/outreach/press-rel/pr-1999/pr-16-99.html)



# H. C. Ørsted under lup – I anledning af en kritisk beretning om “Det polytekniske gennembrud”

Ove Nathan, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.

I hundredeåret for H. C. Ørsteds død (1951) mindedes Niels Bohr sin store forgænger ved en tale i festsalen på Københavns Universitet. Her beskrev Bohr de centrale sider af Ørsteds virksomhed i vendinger, der på samme tid var præcise og kærlige. Bohr opridsede Ørsteds videnskabelige og samfundsmæssige indsats, og placerede hans epokegørende opdagelse af elektromagnetismen i en international og videnskabshistorisk sammenhæng.

Det siger sig selv, at Bohrs tale havde karakter af en hyldest til 1800-tallets største, danske naturvidenskabsmand, men på et enkelt punkt dukkede der dog en mildt kritisk bemærkning op. I sine første studieår var Ørsted blevet stærkt optaget af romantikkens naturfilosofi. Målet for denne filosofiske retning var at overvinde splittelsen mellem ånd og natur, og studiet af naturen blev af naturfilosofferne opfattet som en af flere mulige veje til at erkende, hvad man betegnede som det absolutte i alnaturen. Naturfilosofien begejstrede Ørsted, som her så en ledetråd både for sin senere naturforskning og for sin samfundsmæssige virksomhed.

I sin mindetale fulgte Bohr dog ikke uden videre Ørsted på dennes naturfilosofiske vandringer. Eksempelvis kommenterer Bohr sin forgængers arbejder med de såkaldte akustiske klangfigurer således: *“Her viste han sig som en målbevidst og systematisk arbejdende eksperimentator, men i sin stærke betoning af den indre sammenhæng mellem følelsen af glæde over musikkens klang og den geometriske skønhed af de fysiske fænomener vover han sig somme tider endnu langt ud i naturfilosofiens dunkelhed.”* Et andet sted taler Bohr om Ørsteds *“vidtsvævende filosofiske tanker”*, og han citerer fysikeren Chr. Christiansens noget ironiske bemærkning om Ørsteds optagethed af naturfilosofien: *“Paa en Maade var der ikke andet at gøre, naar han (Ørsted) ikke vilde overtage en Bestilling ved et Apotek.”*

Bohrs distance til naturfilosofien som sådan forhindrede ham naturligvis ikke i at påskønne de positive og konstruktive elementer, som denne tankebygning også indeholdt. Romantikkens naturfilosofi betonedes sammenhængen og enheden i naturbeskrivelsen, og på det punkt måtte Bohr jo erklære sig enig. Det var netop drømmen om sammenhæng, der inspirerede Ørsted til eksperimenterne med kompasnålen og den elektriske strøm, og Bohr fører denne tankegang videre frem til relativitetsteorien. Bohr mindede bl.a. sine tilhørere om relativitetsteoriens forbindelse mellem elektricitet og magnetisme: *“visse virkninger, der af een iagttager*

*vil opfattes som værende af ren elektrisk art, vil af en anden tilskrives tilstedeværelsen af baade elektriske og magnetiske kræfter... Ved den mulighed, der saaledes opnaas for at sammenfatte træk, mellem hvilke hidtil ingen forbindelse kunne øjnes, har vort verdensbillede vundet en enhed af hidtil ukendt rækkevidde.”*

I den omfattende litteratur om H.C. Ørsted tegnes “Store Hans Christian” gennemgående som den geniale ener, hvis indsats var epokegørende både som videnskabsmand i laboratoriet, som original tænker og som aktør i samfundet. På den baggrund virker historikeren Michael Wagners murstenstykke beretning (1999) om “Det polytekniske gennembrud” nærmest som en spand koldt vand. Gennem Michael Wagners briller ses nemlig Ørsted som en dreven universitetspolitiker, der var særdeles ferm til at iscenesætte sig selv som naturvidenskabsmand (Wagners formulering).

Temaet for Wagners bog er historien om oprettelsen af Polyteknisk Lærestalt i 1829, med alt hvad dertil hører. Ørsted var som bekendt en drivende kraft bag dette initiativ, og det er ikke mindst hans indflydelse på Lærestaltens virksomhed, som interesserer Wagner. Gennem analyse af et omfattende kilde-materiale har Wagner søgt at afdække både forhistorien forud for Lærestaltens grundlæggelse, og de efterfølgende reaktioner i det danske samfund på den nye Lærestalts ideologi og undervisning. Det er Wagners konklusion, at Ørsteds indflydelse på Lærestalten medførte en skævvridning af undervisningen, hvor praksis blev underordnet teori, og hvor der foregik en ensidig indlæring af teoretisk naturvidenskab. Skal man tro Wagner, blev de polytekniske kandidater udstyret med en standsbestemt, akademisk mentalitet, der gjorde det nærmest umuligt for dem at beskæftige sig med håndværkets praktiske viden og teknik.

Det er Wagners konklusion, at kandidaterne fra Den polytekniske Lærestalt i de første mange år i det store og hele gik ind i embedsmandsstillinger eller i akademiske professioner, og at Lærestalten derfor ikke kom til at bidrage væsentligt til den industrielle udvikling i Danmark. Polyteknikerne var, iflg. Wagner, teoretikere, som så ned på praksis og håndværk, og som endda i de første mange år ikke ønskede at blive identificerede med noget så lavtstående som ingeniøreri og industridrivende.

Når man ikke er faghistoriker (og det er nærværende anmelder bestemt ikke), er det svært at forholde sig på samme tid kompetent og kritisk til en historisk analyse som Wagners, der oven i købet er udstyret med et væld



af kildehenvisninger. Jeg skal derfor lade hans ord stå, som de er trykt i hans bog, og antage at sådan har det i det store og hele forholdt sig i forrige århundrede. Men selv for en lægmand uden historikerens fagkundskab må det være tilladt at konfrontere historien med dagens virkelighed, og stille spørgsmålet: hvad lærer vi så om nutiden? Her er en historieskrivning, som kraftigt problematiserer det oprindelige oplæg til en Lærestanstalt, der stadig består og som uddanner kandidater i stort antal. Er disse kandidater stadig uden betydning for Danmarks industrielle udvikling?

Det kræver ingen dokumentation at besvare det spørgsmål. Der er sket meget på de 170 år, og idag er ingeniøruddannelserne ved DTU, Danmarks Tekniske Universitet (som navnet nu med rette er ændret til), blevet et grundelement i landets industristruktur. Hele samfundet har fået et uddannelsesmæssigt løft, og store dele af dansk industri er i dag baseret på avanceret teknologi, som ikke kan beherskes og udvikles uden omfattende teoretisk indsigt. Derfor er det en fordel og en styrke, at DTU har bevaret sin grundvidenskabelige tradition og sine uddannelsesmæssige krav om tilegnelse af teoretisk grundviden. Set med dagens øjne må det siges at være et stort held for dansk industriudvikling, at H. C. Ørsted i sin tid lagde vægt på teorien, og at Lærestanstalten ikke siden hen fraveg dette sigte. Så uanset Michael Wagners beretning om det historiske forløb sender jeg da Ørsted en taknemmelig tanke for det præg, han satte på Lærestanstaltens læseplaner.

Som nævnt hævder Michael Wagner, at H. C. Ørsted var særdeles ferm til at iscenesætte sig selv som naturvidenskabsmand. Hvad nøjagtig denne syrlige påstand er møntet på, fremgår dog ikke af bogen. Påstanden harmonerer i al fald dårligt med Ørsteds handle måde i forbindelse med hans opdagelse af elektromagnetismen i 1820.

Historien om elektromagnetismens opdukken på videnskabens scene er fornylig skitseret af professor Hans Toftlund Nielsen, Odense Universitet, i en oversigtsartikel, der er cirkuleret privat (1999). Iflg. Toftlund Nielsen gjorde Ørsted det usædvanlige, at han i en encyklopædisk artikel fra 1830 om elektromagnetismen

fremhævede flere eksempler på, at andre havde foretaget hans opdagelse ved eksperimenter af anden art end hans eget. Den slags anfald af beskedenhed optræder sjældent i videnskabens historie. Og som Toftlund Nielsen anfører, var det ganske unødvendigt for Ørsted at fremkomme med sådanne forbehold, eftersom tidens toneangivende tidsskriftsredaktør L. W. Gilbert allerede i 1821 havde påpeget, at Ørsted var den eneste, der havde indset opdagelsens store betydning.

Toftlund Nielsens artikel indeholder adskillige referencer til arbejder fra 1700-tallet og 1800-tallet, som på en eller anden måde peger på en sammenhæng mellem elektricitet og magnetisme eller mellem magnetisme og kemi. Bl.a. nævner han et eksperiment udført af den italienske jurist G. D. Romagnosi i 1802. Men såvel Romagnosis eksperiment som de øvrige elektromagnetiske eller magneto-kemiske eksperimenter er iflg. Toftlund Nielsen uoverbevisende og uklart dokumenterede. Ingen af dem kommer på højde med Ørsteds entydige og velbeskrevne forsøg. Toftlund Nielsens konklusion er derfor klar: H. C. Ørsted er opdageren af elektromagnetismen, med fuld ret til prioritet. Der var ikke antydning af nogen unfair iscenesættelse fra Ørsteds side i denne sag.

Det er ingen skade til, at man går H. C. Ørsted efter i sømmene, også gerne med et kritisk blik. Men indtil videre forekommer det ikke, som om "Store Hans Christian" er blevet væsentligt mindre under eftersynet.



Ove Nathan er professor og tidligere rektor for Københavns Universitet. Ove Nathan modtog tidligere i år SNU's Ørsted medalje som anerkendelse af bl.a. hans indsats som formidler af fysisk forskning.

## Næste nummer af Kvant

Den opmærksomme læser af Kvant vil have bemærket, at det i det forløbne år er lykkedes at udvide såvel antallet af sider i bladet og som antallet af sider med firefarvet tryk. Forhåbentlig vil bladets økonomi tillade, at vi også fremover vil kunne bringe flere og mere farvestrålende sider.

Redaktionen modtager – heldigvis – ganske mange forslag til artikler, også flere end der er plads til at bringe, selv med de ekstra sider. Selvom vi derfor ikke kan love at bringe alle artikler, er vi meget glade den

store interesse og opfordrer fortsat læserne til at sende deres bidrag.

Indimellem må vi derfor også opleve, at der ikke engang bliver plads til alle de annoncerede artikler. Derfor må læserne glæde sig til næste nummer af Kvant for at læse Aksel Wiin-Nielsens artikel om atmosfærens struktur. Desuden skriver Michael Cramer Andersen og Arne Damm om det astrofysiske grundlag for liv, og Henrik Stapelfeldt fortæller om årets nobelpris i kemi.



# Nyt fra Astronomisk Selskab

## Astronomisk Selskab

Hjemmeside: [www.dsri.dk/AS](http://www.dsri.dk/AS)

Michael Quaade (formand)  
Hviddingvej 48  
2610 Rødovre

E-mail: [mq@dsri.dk](mailto:mq@dsri.dk)  
Tlf. 36 72 36 34

Knud Strandbæk (næstformand)  
E-mail: [canute@mail.dk](mailto:canute@mail.dk)

Gunnar Olesen (kasserer)  
E-mail: [g.olesen@image.dk](mailto:g.olesen@image.dk)

Camilla Bacher  
E-mail: [bacher@fys.ku.dk](mailto:bacher@fys.ku.dk)

Morten Bech Kristensen  
E-mail: [krisbech@post11.tele.dk](mailto:krisbech@post11.tele.dk)

Bjarne Thomsen  
E-mail: [bt@obs.aau.dk](mailto:bt@obs.aau.dk)



## Astronomi ved årtusindskiftet – status og perspektiver

Vi har i det tyvende århundredes sidste årti set en rivende udvikling inden for alle grene af den astronomiske forskning. Den jordbaserede astronomiske forskning har fået adgang til et efterhånden større antal optiske teleskoper med diametre på 8–10 m, ligesom der er fremskredne planer for et stort teleskop for bølgelængder lige under 1 mm. Rumforskningen har fået en fornyet vitalitet med introduktionen af NASAs program til studier af oprindelsen af Universet, galakser, stjerner, planeter og til sidst selve livet. Den igangværende udforskning af planeten Mars er blot et af mange led i denne strategi. Et andet vigtigt redskab er den næste generation af rumteleskopet (NGST), der vil få en uovertruffen følsomhed i det infrarøde bølgelængdeområde. Et af de vigtigste europæiske satellitprojekter er Planck, der vil måle den kosmiske baggrundsstråling med en hidtil uhørt nøjagtighed. Vi må imidlertid ikke glemme betydningen af det "gamle" Hubble rumteleskop og det nyligt opsendte Chandra røntgenteleskop. Danmark er desuden blevet en "rumnation" med opsendelsen af Ørsted satellitten, og den næste satellit i det danske småsatellitprogram vil få et astronomisk formål.

Det er derfor på sin plads at gøre status over de astronomiske landvindinger i 20. århundrede, samt at opidse perspektiverne for astronomien i det første årti af det 21. århundrede.

Astronomisk Selskab afholder derfor i foråret 2000 en foredragssække i København og Århus, der består af følgende foredrag:

Mandag den 7. februar. Solsystemet. Ib Lundgaard Rasmussen, Dansk Rumforskningsinstitut.

Mandag den 28. februar. Stjernerne. Jørgen Christensen-Dalsgaard, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.

Mandag den 13. marts. Mælkevejen. Birgitta Nordstrøm, Astronomisk Observatorium, Københavns Universitet

Mandag den 27. marts. Kosmologi. Steen Hannestad, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Mandag den 10. april. Det danske småsatellitprogram Hans Kjeldsen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Tid og sted: Kl. 19.15 i Store Auditorium i Rockefeller Komplekset, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø.

Der er gratis adgang for medlemmer af Astronomisk Selskab og Tycho Brahe Planetarium, tilmelding er ikke nødvendig. Ellers tilmelding gennem Folkeuniversitetet i København (deres kursusprogram kan rekvireres på 33 14 48 27).

Foredragsserien gentages i Århus:

Mandag den 14. februar. Solsystemet. Ib Lundgaard Rasmussen, Dansk Rumforskningsinstitut.

Mandag den 6. marts. Stjernerne. Jørgen Christensen-Dalsgaard, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.

Mandag den 20. marts. Mælkevejen. Birgitta Nordstrøm, Astronomisk Observatorium, Københavns Universitet

Mandag den 3. april. Kosmologi. Steen Hannestad, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Mandag den 17. april. Det danske småsatellitprogram Hans Kjeldsen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Tid og sted: Kl. 19.15 på Matematisk Institut, Aarhus Universitet, Ny Munkegade, Bygning 530, 8000 Aarhus C.

Der er gratis adgang for medlemmer af Astronomisk Selskab. Ellers tilmelding gennem Folkeuniversitetet i Århus på tlf.: 86 19 05 66

Foredragssækken er tilrettelagt af: Bjarne Thomsen og Camilla Bacher, Astronomisk Selskab. Se også vores hjemmeside: [as.dsri.dk/foredragF2000.html](http://as.dsri.dk/foredragF2000.html)



# Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

## Dansk Fysisk Selskab

Hjemmeside: [www.nbi.dk/dfs](http://www.nbi.dk/dfs)  
Inf. om DFS's årsmøde: [dfs@nbi.dk](mailto:dfs@nbi.dk)

Jens Olaf Pepke Pedersen (formand)  
DCESS, NBIfAFG  
Juliane Maries Vej 30  
2100 København Ø

E-mail: [jopp@dcess.ku.dk](mailto:jopp@dcess.ku.dk)  
Tlf. 35 32 05 73 / Fax 35 32 05 76

Dorthe Posselt (næstformand)  
E-mail: [dorthe@mmf.ruc.dk](mailto:dorthe@mmf.ruc.dk)

Nis Bjerre (kasserer)  
E-mail: [nis@ifa.au.dk](mailto:nis@ifa.au.dk)

Preben Alstrøm  
E-mail: [alstrom@nbi.dk](mailto:alstrom@nbi.dk)

Karsten W. Jacobsen  
E-mail: [Karsten.W.Jacobsen@fysik.dtu.dk](mailto:Karsten.W.Jacobsen@fysik.dtu.dk)

Ole Mouritsen  
E-mail: [ogm@fki.dtu.dk](mailto:ogm@fki.dtu.dk)

Poul V. Thomsen  
E-mail: [pvt@ifa.au.dk](mailto:pvt@ifa.au.dk)



## DFS årsmøde 2000

Dansk Fysisk Selskab afholder sit årsmøde 2000 på hotel Nyborg Strand i dagene 8.–9. juni 2000. Som de foregående år afholdes det årlige astronomimøde, sponsoreret af SNF's Instrumentcenter for Jordbaseret Astronomisk Forskning (IJAF) sammen med DFS's møde. Mødet starter torsdag den 8. juni kl. 11 og slutter fredag den 9. juni kl. 17.

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

Sideløbende hermed vil forskningsresultater blive præsenteret som posters, og nyt apparatur vil blive fremvist på en udstilling. DFS afholder desuden sin årlige generalforsamling under årsmødet fredag den 9. juni 2000.

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

### Tilmeldingsfrist

Fristen for tilmelding til årsmødet er *mandag den 27. marts 2000*.

Tilmeldinger modtages dog også efter denne dato,

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

### Program

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

### Indkvartering, priser m.v.

Indkvartering foregår på hotel Nyborg Strand. Pris for mødedeltagelse, incl. eventuel overnatning og diverse måltider, fremgår af tilmeldingsblanketten på side 38. Tilmelding sker ved at sende blanketten til hotel Nyborg Strand, eller via internettet på DFS's hjemmeside. Deltagegebyret skal indbetales til hotellet på giro 801-9231 inden årsmødet.

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

### Transport

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

### Abstracts

Abstract indsendes via DFS's hjemmeside ([www.nbi.dk/dfs](http://www.nbi.dk/dfs)), og et skema hertil vil blive lagt ud på hjemmesiden i januar/februar 2000. Fristen for indsendelse af abstracts er også den 27. marts 2000.

DFS's sektioner og IJAF (SNF's Instrumentcenter for Jordbaseret Astronomisk Forskning) sammensætter programmet på grundlag af bl.a. de indsendte ab-



stracts, og deltagerne vil få meddelelse herom, hvis deres bidrag er udvalgt til et foredrag. De øvrige bidrag (samt hvis man ikke ønsker foredrag) vil blive præsenteret i en posterudstilling. Posterboards er 1.15 m brede og 1.45 m høje, og de er hævet ca. 30-40 cm over gulvet. De bedste posters vil blive præmieret udmiddelbart efter DFS's generalforsamling.

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

Alle deltagere, der er tilmeldt pr. 1. maj får tilsendt en bekræftelse samt årsmødeprogrammet fra hotellet i første halvdel af maj.

### Sprog

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

### Yderligere information

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

### KIF årsmøde 7. juni 2000

Netværk for Kvinder i Fysik (KIF) afholder sit årsmøde onsdag den 7. juni, ligeledes på Nyborg Strand. Mødet, der starter kl. 10, omfatter faglige foredrag af kvindelige danske fysikere samt et foredrag af en udenlandsk fysiker over et mere generelt "kvinder i fysik"-tema. Alle er velkomne til at overvære foredragene. Dagen afsluttes med et netværksmøde med yderligere udveksling af erfaring og diskussion. For yderligere information, kontakt venligst Dorte Posselt, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, 4000 Roskilde. Telefon 46 74 26 07, fax 46 74 30 20, e-post: [dorte@mmf.ruc.dk](mailto:dorte@mmf.ruc.dk). Tilmelding sker på tilmeldingsblanketten side 38.

Efter sidste årsmøde består bestyrelsen for KIF af: Anja C. Andersen, formand ([anja@astro.ku.dk](mailto:anja@astro.ku.dk)), Eva Danielsen, næstformand ([eda@kvl.dk](mailto:eda@kvl.dk)), Maryanne Kmit, ([kmit@dmu.dk](mailto:kmit@dmu.dk)), Anja Boisen ([ab@mic.dtu.dk](mailto:ab@mic.dtu.dk)), Susan Larsen ([suslar@post.tele.dk](mailto:suslar@post.tele.dk)), Dorte Posselt, DFS repræsentant og kasserer, Mia Stampe ([ams@gfy.ku.dk](mailto:ams@gfy.ku.dk)), Henriette Jensenius ([Hj@mic.dtu.dk](mailto:Hj@mic.dtu.dk)), Terese Moretto ([Moretto@dsri.dk](mailto:Moretto@dsri.dk)), Kirstine Berg-Sørensen ([kirstine@nordita.dk](mailto:kirstine@nordita.dk)), Lene Oddershede ([Odder@alf.nbi.dk](mailto:Odder@alf.nbi.dk)) og Liv Hornekær ([Liv@dfi.aau.dk](mailto:Liv@dfi.aau.dk)).

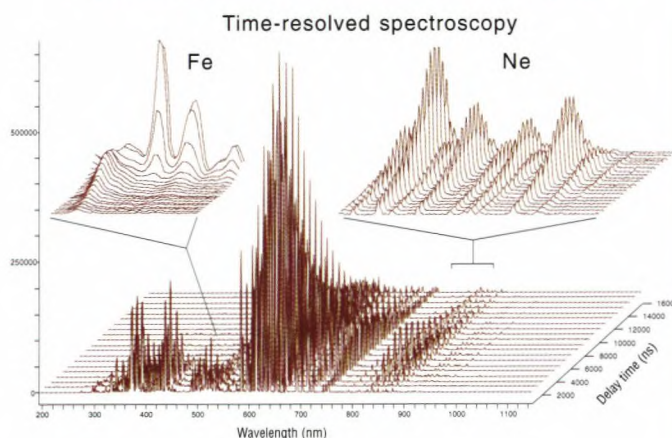
## THE MECHELLE SPECTRAL SYSTEMS



Our spectrograph system, with optional fibre optic input, combined with the latest CCD/ICCD technology, offers a number of unmatched features.

- Simultaneous spectral recording from 200 to 1100 nm. No scanning or moving parts.
- Multichannel time-resolved recordings from 3 ns.
- No overlapping wavelengths and true spectral continuity.
- High constant spectral resolution (CSR™) 0.04 nm at 300 nm.
- Compact, rugged and portable.
- Compatible with GRAMS/32™ and other laboratory software.

**For more information about the Mechelle™, please contact us or visit our Homepage**



Tel: +46 8 605 70 90  
Fax: +46 8 605 71 01  
Homepage: [www.multichannel.se](http://www.multichannel.se)  
E-mail: [mechelle@multichannel.se](mailto:mechelle@multichannel.se)



# Alt i en bog – tre boganmeldelser

Jens Olaf Pepke Pedersen, redaktør af *Kvant*

## Alle grundstofferne

“Bogen om Grundstofferne” er en flot og velskrevet bog. Bogen indledes med et par sider om grundstoffernes oprindelse, men ellers gennemgår bogen samtlige grundstoffer på en systematisk og overskuelig måde – med præcis to sider til hvert grundstof.

På disse to sider er der dels faste oplysninger som f.eks. stof-ernes elektronstruktur, isotopfordeling, smelte- og kogepunkt, fordampningsvarme osv. Der er også – lidt mere usikre – angivelser af den årlige verdensproduktion og indholdet af grundstoffet i bl.a. jordskorpen og et menneske.

De medtagne data dækker vel en del af, hvad man kommer ud for at skulle bruge i gymnasiet, men må ellers nok mere betragtes som egnet til baggrundviden end til egentlige tabelopslag. Derimod er teksten meget læseværdig og spændende fortalt. Det vrir med små historier om stoffernes opdagelse, anvendelse og egenskaber, og forfatterne har fundet et meget stort antal flotte illustrationer. Derfor er der kommet et overraskende godt resultat ud af et dette projekt, der nemt kunne være endt i en uinspirerende gennemgang af det periodiske system.

Bogen ender ved grundstof nr. 112, og for de sidste tre grundstoffers vedkommende er det ikke lykkedes at få teksten til at fylde de to sider, der er standarden for de øvrige stoffer. Der er heller ikke så meget at fortælle om de sidste stoffer, der kun eksisterer i brøkdeler af et sekund. Siden bogens udgivelse har man skabt et nogle flere, nemlig nr. 114, 116 og 118. Specielt nr. 114, der blev skabt i Dubna i Rusland er interessant, fordi den har en uhørt “lang” levetid på ca. 30 sekunder. Dermed er man måske ved at nå tæt på den berømte “Ø” af supertunge, stabile grundstoffer. Men inden den historie skal skrives, kan det anbefales at læse om de første 112 grundstoffer i denne bog.

*Bogen om Grundstofferne. Af Henning Henriksen og Erik Pawlik, 240 sider. Gyldendal 1998. Pris 451,25 kr. Forfatterne modtog tidligere i år Undervisningsministeriets Undervisningsmiddelpris for bogen.*

## Al begejstringen

Mens “Bogen om Grundstofferne” trods de ovennævnte pæne ord et overskueligt projekt, så er Ove Nathan og Henrik Smith gået igang med et ambitiøst forsøg på at skrive en “folkebog” om fysikken. Det er der også kommet en meget flot bog ud af.

Billedmaterialet er måske ikke helt så overvældende som i den førstnævnte bog, og det er også et minus, at mange af de gode illustrationer er forvist til bogens margin, hvor de har fået en størrelse omtrent som små frimærker. Teksten er det imidlertid en fornøjelse at læse, og ikke mindst i en tid, hvor de store udenlandske forlag udsender den ene populærvideenskabelige bog efter den anden af meget varierende kvalitet, dækker denne bog et stort behov for en dansksproget bog om fysik.

Bogen indledes med et afsnit om fysikkens natur – dens sprog, teknik, dimensioner, byggeklodser osv. Herefter følger det ene af bogens hovedafsnit, nemlig en gennemgang af fysikkens udvikling fra antikken og til midten af det 20. århundrede. Det er en historie, der er fortalt før, men sjældent på en så elegant måde med mange fine pointer.

I det andet hovedafsnit gennemgår forfatterne fysikkens verden af idag. I diskussionen af, hvorledes man kan definere den moderne fysik, skriver de, at man kunne tage udgangspunkt i fysikkens organisation og nævner herefter det amerikanske fysiske selskabs

mange sektioner. I gennemgangen af emnerne fra nutidens fysik har forfatterne dog alligevel valgt hovedområderne faststoffysik, atomfysik samt kerne- og partikelfysik, så de kunne næsten have fundet dispositionen ved at se på sektionerne i Dansk Fysisk Selskab. Det skal dog retfærdigvis bemærkes, at sektionen for kerne- og partikelfysik ikke har været aktiv i en årrække (hvilket nu ikke må tages som et udtryk for den danske forskningsindsats i dette felt).

Bogen afsluttes med kapitler om teori og modeller samt matematiske noter. Alt i alt fremstår bogen som en fornem gennemgang af fysikken og det er imponerende, hvad forfatterne har fået med på de 290 sider. Det er ikke nogen let læst bog, og den foregøgler heller ikke læseren, at fysik er let at forstå. At bogen samtidig betjener sig af græske bogstaver samt matematiske symboler og ligninger gør ikke læserens indsats mindre (selvom forfatterne i forordet skriver, at man bare kan springe dem over). For en erfaren læser af *Kvant* volder bogen imidlertid ikke problemer, og det er en bog helt i *Kvants* ånd: fysik er svært, men spændende, og fagets udøvere har en forpligtigelse til at fortælle om fysikkens verden. At forfatterne samtidig formår at formidle deres begejstring for faget er naturligvis kun medvirkende til at bogen herfra får en varm anbefaling.

*Den harmoniske begejstring. Fysikkens natur – Naturens fysik. Af Ove Nathan og Henrik Smith, 290 sider. Gyldendal 1999. Pris 348 kr.*

## Alle formlerne

I min egen gymnasietid var en formelsamling et uundværligt redskab i løsningen af ugens matematik- og fysikopgaver. Senere hen i livet lærer man at klare sig ved opslag i gamle lærebøger eller noter.

Derfor er det en sympatisk ide, når en nyligt pensioneret fysikprofessor, Charles P. Poole, Jr., fra University of South Carolina har forsøgt at samle alle de vigtigste formler og fundamentale principper i en enkelt bog: *The Physics Handbook*.

Forfatteren har i løbet af sin 40-årige karriere indenfor industrien og universitetsverdenen ført regnskab med, hvad han havde brug for selv at slå op i sine lærebøger, og det er der nu kommet en omfattende formelsamling ud af. Det siger sig selv, at man kommer vidt omkring. Der er større afsnit om matematisk fysik med tensorer, matricer, differentialligninger og mange de specielle funktioner, der optræder i løsningen af ligningerne. Der er relativitetsteori, termodynamik, kvantemekanik, statistisk mekanik, elektrodynamik og naturligvis atomfysik, kernefysik, partikelfysik og faststoffysik. Der er også afsnit om emner som stråling, optik og kaos.

Til hvert kapitel findes der en (i øvrigt ikke særlig omfattende) bibliografi, hvor man kan læse videre om de enkelte emner.

Bogen er ganske vellykket og nyttig, hvis man lige vil slå en af de grundlæggende formler op, ligesom de enkelte kapitler også giver et det overblik over emnerne, der må høre med til en fysikers almene dannelse. Men det siger sig selv, at der er grænser for, hvad man får med i en bog på knap 500 sider, og man skal ikke gå særlig langt ned i de enkelte emner, før man må læse videre andetsteds.

Bogen henvender sig nok mest til fysikstuderende, og er i øvrigt ikke den eneste af sin art på markedet. Man kan således også investere sin uddannelsesstøtte i “*A Physicist’s Desk Reference*” (redigeret af H. L. Anderson) eller “*Physics Quick Reference Guide*” (E. R. Cohen).

*The Physics Handbook – Fundamentals and Key Equations. Af Charles P. Poole, Jr., 493 sider. John Wiley & Sons, 1998. Pris: 38,95 engelske pund.*



# Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

## Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Direktionen for SNU udgøres af:

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

Lektor Finn Berg Rasmussen

Lektor Erik Schou Jensen

Professor Erik W. Thulstrup

Lektor Malte Olsen

Direktør Ole Mørk Lauridsen

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



## Forårsprogram 2000

SNU arrangerer i foråret 2000 en række foredrag og virksomhedsbesøg.

Nærmere oplysninger om selskabets arrangementer fås hos Bente Egaa på telefon 35 87 88 04.

## Medlemsskab af AS/DFS/SNU

Indmeldelse i foreningerne AS, DFS eller SNU kan ske ved at udfylde og indsende kuponen nedenfor. Det koster 250 kr. om året at være medlem af AS, 325 kr. om året at være medlem af DFS (dog 75 kr. for pensionister) og 150 kr. om året at være medlem af SNU. Unge under uddannelse slipper dog med 100 kr. hos AS og 75 kr. hos DFS og SNU. Det er også muligt alene at tegne abonnement på Kvant for 135 kr. om året. Hvis du ikke vil klippe i bladet, må du gerne fotokopiere kuponen.

## Mangler du Kvant?

Hvis du mener, at du allerede har abonnement, men ikke får bladet (og derfor læser dette hos en kollega), har du måske glemt at melde flytning (det skal meddeles postvæsenet eksplicit!) eller glemt at betale for abonnementet/kontingentet. Du opfordres derfor til at kontakte Lene Körner, Matematisk Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (kørner@math.ku.dk), tlf. 35 32 07 62, for at få opklaret sagen.

Kvant udsendes gratis til alle landets gymnasier, HF-kurser, tekniske skoler, seminarier m.fl. Hvis du er lærer et af disse steder og din arbejdsplads ikke modtager Kvant opfordres du også til at rette henvendelse til Lene Körner.

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

Jeg er ☐ under uddannelse ☐ pensionist

Jeg ønsker

- ☐ abonnement på Kvant  
☐ medlemsskab af AS  
☐ medlemsskab af DFS  
☐ medlemsskab af SNU

Ved DFS-medlemsskab: Angiv evt. ønske om tilknytning til sektionerne for:

- ☐ atomfysik  
☐ faststoffysik  
☐ uddannelse og undervisning  
☐ netværk for kvinder i fysik (KIF)



**POST**

Sendes ufranket  
Modtageren  
betaler porto

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



## Læs om solformørkelsen, kuglehobe, teleportation – og meget mere

Dette nummer af Kvant er et prøvenummer på et nyt samarbejde med Astronomisk Selskab, der er indtrådt som medejer af Kvant sammen med Dansk Fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse.

Vi vil gerne byde Astronomisk Selskabs 800 medlemmer velkommen som læsere af Kvant. Enkelte af medlemmerne kender i forvejen Kvant som medlem af DFS eller SNU, og dem beder vi have forståelse for, at de i en overgang modtager to eksemplarer af bladet.

En af årets store begivenheder var den totale solformørkelse den 11. august. Kvants nyhedsredaktør Michael Cramer Andersen, der overværede formørkelsen i Bulgarien skriver om den store oplevelse på side 33.



Nyhedsredaktør Michael Cramer Andersen, i fuld udrustning, gør klar til solformørkelsen i Bulgarien.

På de hjemlige breddegrader nåede formørkelsen op på 80%, hvilket var tilstrækkeligt til, at verden en tid føltes lidt mørkere og køligere. Derved adskilte vejret denne augustdag sig ikke nævneværdigt fra resten af sommeren, men naturfænomenet blev dog alligevel fulgt af tusindvis af astronomiinteresserede.

Begivenhederne i andre galakser dækkes i dette nummer af Søren Larsen, der skriver om dannelsen af stjernehober, mens generalsekretæren for den Internationale Astronomiske Union skriver om hans arbejde

med at styre astronomerne.

Desuden bringer vi en artikel om Kvante teleportation af Jens Lykke Sørensen og Eugene S. Polzik. Danmarks Naturvidenskabelige Akademi har i øvrigt netop tildelt Jens Lykke Sørensen Akademiets Ph.D.-Pris for hans arbejde med teleportation, og det benytter vi lejligheden til at ønske ham tillykke med.



Chefredaktørens børn (Sarah, Christine og Michael), også i fuld udrustning, følger solformørkelsen fra Allerød.

Nobelpriskomiteen har i år (som omtalt i sidste nummer af Kvant) givet fysikprisen for 1999 til to hollandske fysikere for deres arbejde med de elektrosvage vekselvirkningers kvantestruktur. Denne gang skriver Benny Lautrup og Jens Lyng Petersen en udførlig beretning om de to hollænderes arbejde. Desuden bringer vi nyt fra de tre selskaber, boganmeldelser samt en kommentar af Ove Nathan i anledning af en bogudgivelse.

Årsskiftet går naturligvis ikke upåagtet hen i Kvant, og i en artikel om vores tidsregning diskuterer Chr. Marinus Taisbak, hvad det egentlig er, vi fejrer den 31. december i år. Uanset hvad vore læsere herefter vælger af fejre nytårsaften vil vi dog gerne slutte denne årgang af Kvant med at ønske dem et godt nytår.

På gensyn i år 2000!