

KVANT

Marts
2012

1

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 23. årgang

- UNIVERSETS BEGYNDELSE
- SI-SYSTEMET UNDER REVISION
- JORDENS MÆRKELEGE FØLGESVENDE
- FJERNE GALAKSER OBSERVERET MED ALMA
- VENUSPASSAGEN DEN 6. JUNI
- RELATIVISTISK BORDTENNIS
- KVANT-NYHEDER

Løssalgsspris: 50 kr

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

c/o Niels Bohr Institutet
Universitetsparken 5
DK-2100 København Ø
Hjemmeside : www.kvant.dk
E-mail : kvant@kvant.dk

Udvides af

Astronomisk Selskab,
Dansk Fysisk Selskab,
Dansk Geofysisk Forening,
Selskabet for Naturlærens Udbredelse,

Redaktion

Michael Cramer Andersen (ansv. red.),
Christianshavns Gymnasium
Mogens Esrom Larsen,
Institut for Matematiske Fag, KU
Sven Munk (nyhedsredaktør)
John Rosendal Nielsen (nyhedsredaktør),
Aurehøj Gymnasium
Jens Olaf Pepke Pedersen,
DTU Space
Finn Berg Rasmussen,
Ørsted Lab, Københavns Universitet
Svend Erik Rugh

Korrektur

Natalia Golubeva,
Aarhus Universitet
Torben Westerberg

Foreningsrepræsentanter

Torben Lund Skovhus (SNU),
Teknologisk Institut

Abonnementspris : 180 kr/år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Henvendelser vedr. abonnement til forretningsfører Lene Körner tlf. 35 32 07 62 (koerner@kvant.dk).

Annoncepriser

1/1 side: 3600 kr, 1/2 side: 2400 kr
1/4 side: 1600 kr.

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

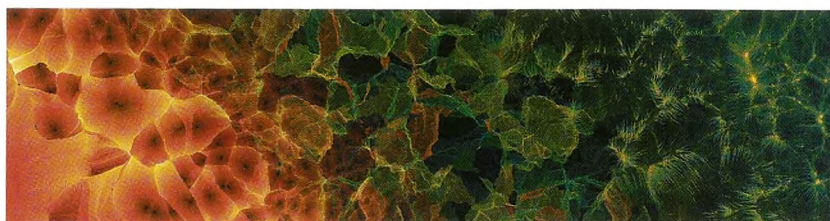
Oplag: 2200. Tryk: HCB Tryk ApS, Brønderslev. ISSN 0905-8893

Produktionsplan

Nr. 2-12 udkommer ca. 15. maj
Nr. 3-12 udkommer ca. 15. september
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

SI-systemet under revision <i>Finn Berg Rasmussen</i>	3
Universets begyndelse <i>Erik Høg, Peter Laursen og Johan Samsing</i>	7
Atacama Large Millimeter Array – en ny æra i udforskningen af galakser <i>Thomas R. Greve</i>	13
Venuspassagen den 6. juni <i>Michael Quaade</i>	17
Jordens mærkelige følgesvende – opdagelsen af Jordens første trojanske asteroide <i>Tobias Cornelius Hinse og René Michelsen</i>	18
Dansk Fysisk Selskab – Årsmøde den 19.-20. juni	25
Netværk for Kvinder i Fysiks årsmøde den 18. juni	27
Netværk for Kvinder i Fysiks talentpris – KIF-prisen 2012	27
Foreningsnyt – foredrag i foråret	28
KVANT-nyheder <i>Sven Munk og John Rosendal Nielsen</i>	29
Relativistisk bordtennis og neutronabsorption – breddeopgaver 47 og 48 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	32
Aktuelle bøger <i>Anja Skaar Jacobsen, Jens Olaf Pepke Pedersen og Michael Cramer Andersen</i>	34
Forskernes smukke billeder <i>John Rosendal Nielsen</i>	Bagsiden



Billedet på forsiden er et udsnit af billedet ovenfor, som også ses lidt større på bagsiden. Det er en kunstnerisk bearbejdning af data fra en computersimulering af kosmisk strukturdannelse. Big Bang ligger til venstre og moderne galakser ligger til højre. Før de egentlige galakser blev dannet opstod strukturer i det mørke stof (som repræsenterer fem gange større masse end den synlige gas). Den mørke periode frem til galakser bliver dannet kan i dag studeres med radioteleskoper som ALMA – se artiklen af Thomas R. Greve inde i bladet.

KVANT udsendes gratis til alle landets gymnasier, seminarier og HTX-kurser med velvillig økonomisk støtte fra Niels Bohr Institutet (KU), Institut for Fysik og Astronomi (AU), Institut for Fysik og Kemi (SDU), Institut for Fysik og Nanoteknologi (AAU), samt DTU Fotonik, DTU Fysik og DTU Nanotech.

SI-systemet under revision

Finn Berg Rasmussen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Måleteknikkens udvikling har efterhånden ført til, at en del naturkonstanter nu kan måles med bedre nøjagtighed og reproducerbarhed, end de tilsvarende enheder i SI-systemet kan realiseres. I den situation vil det være formålstjenligt at omdefinere enhederne med udgangspunkt i naturkonstanterne. Det er en filosofi, der om nogle år kan ventes at føre til nye definitioner af fire af SI-systemets grundenheder: kilogram, ampère, kelvin og mol.

De første internationale måleenheder

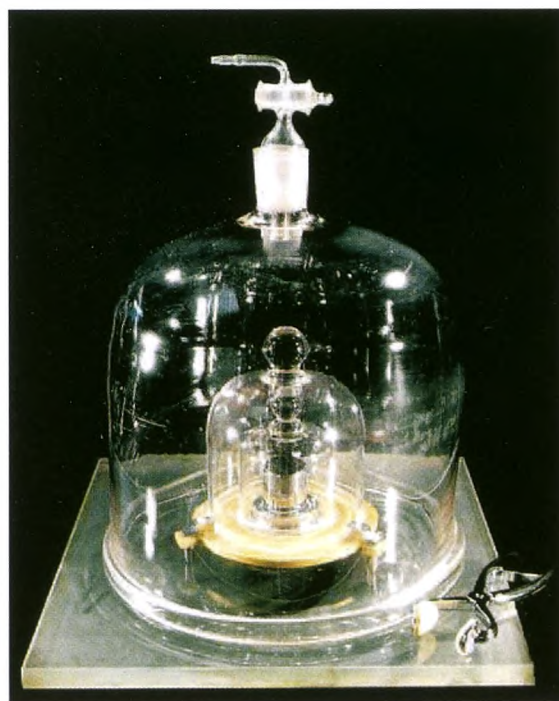
Det Internationale Bureau for Mål og Vægt, BIPM, blev dannet i 1875, hvor 17 industrilande undertegnede *Den Internationale Meterkonvention* [1]. Bureauets opgave var og er at etablere og opretholde fælles måleenheder med den højest mulige præcision. Som udgangspunkt tog man den meternormal og den kilogramnormal, som Frankrig havde udviklet og officielt godkendt i 1799. De to normaler blev opbevaret i det franske nationalarkiv og omtales derfor som *arkivmeteren* og *arkivkilogrammet*. De var begge af rent platin og tilpasset således, at afstanden fra ækvator til Nordpolen gennem Paris-meridianen (jordkvadranten) udgjorde 10.000 kilometer, og at én kubikdecimeter vand ved maksimal massefylde ($4\text{ }^{\circ}\text{C}$) havde massen 1 kilogram.



Figur 1. BIPM's hovedbygning, Pavillon de Breteuil. [1]

I årene op til 1875 var det blevet klart, at arkivmeteren var nogle tiendedele millimeter for kort, og at arkivkilogrammet var næsten 30 milligram for tungt. Løsningen blev at opgive meterens tilknytning til jordkvadranten og kilogrammets tilknytning til et bestemt rumfang vand. I stedet bevarede man kontinuiteten ved at lade nye normaler fremstille, så de var så tæt på de to eksisterende som muligt. Foruden den nye Internationale Meterprototype og det nye Internationale Prototypekilogram (herefter kaldt IPK) blev der fremstillet et større antal kopier til fordeling blandt de deltagende lande og til lejlighedsvis kontrol hos BIPM. Prototyperne blev formelt godkendt i 1889 på den første generalkonference for mål og vægt (CGPM).

Systemet af grundenheder er sidenhen i flere omgange blevet udvidet og ændret. Kilogram er den eneste enhed, der stadig er defineret ved en bestemt fysisk genstand. Den dag i dag er det kilogramloddet IPK fra 1889, som definerer størrelsen af et kilogram (figur 2). Det er naturligvis uheldigt at være afhængig af et eneste lod, som i tidens løb kunne blive beskadiget eller helt gå til. Dertil kommer, at IPK's masse måske ikke er helt konstant: siden 1889 er IPK taget frem to gange og sammenlignet med et stort antal nationale standarder. Resultaterne viser, at flertallet af standarder driver mod højere masser. En forklaring kunne være, at IPK har tabt masse, i størrelsesordenen $50\text{ }\mu\text{g}$, altså $5\text{ på }10^8$. Med de seneste fremskridt i måleteknikken er det imidlertid nu muligt at vende tilbage til det oprindelige ideal: måleenheder som er baseret på universelle fysiske størrelser og er tilgængelige i alle lande [2].



Figur 2. Det Internationale Prototypekilogram, IPK. IPK er en cylinder af 90% platin og 10% iridium, støbt i 1879 hos Johnson Matthey. [1]

Meterdefinitionen 1983

Indtil 1983 var SI-systemets syv grundenheder (sekund, meter, kilogram, ampère, kelvin, mol, candela) alle defineret direkte ved en størrelse af samme slags, altså henholdsvis en tid, en længde, en masse, en strøm, en temperatur, en stofmængde og en lysstyrke. Det princip blev i realiteten brudt i 1983 med den nye meterdefinition.

I 1960 var meterprototypen fra 1889 blevet forladt og erstattet med et vist antal bølgelængder af en nærmere specificeret linje i spektret fra krypton-86. Det skete, fordi længdemåling ved hjælp af interferens kunne gøres mere nøjagtigt, end man kunne aflæse meterstokkens afmærkning. I de følgende årtier udvikledes interferometri med lasere og med andre bølgelængder i en sådan grad, at kryptonlinjens naturlige linjebredde var større end den præcision (forstået som opløsningsevne og reproducerbarhed), som man kunne opnå med disse nye midler. Da samtidigt frekvensmålinger kunne gøres med endnu bedre nøjagtighed end længdemålinger, var det efterhånden krypton-standard, der satte grænsen for bestemmelse af lyshastigheden. Det blev derfor i 1983 besluttet at fastsætte en værdi for lyshastigheden, hvorved man har indført en *indirekte* definition af meteren (definitionen af sekundet skal naturligvis inddrages).

Det indirekte i definitionen er camoufleret i den nuværende formulering, der fastsætter meteren som den længde, lys i det tomme rum tilbagelægger i et vist tidsinterval. Jeg fremhæver det indirekte, fordi de definitioner, der nu er under forberedelse, fortsætter i et lignende spor. Man kan også godt blive grebet af et kort øjebliks panik: "Kan man nu ikke længere måle lyshastigheden?" og "Hvad nu, hvis lyshastigheden ikke er konstant?" Nej, lyshastigheden kan ikke længere måles, og hvis den skulle ændre sig, ville kryptonbølgelængden jo også ændres (hvis frekvensen holder sig uændret), og derfor er man ikke værre stillet end før.

De elektriske enheder

C.F. Gauss fremhævede i 1832 tidsenhedens rolle og foreslog et system med centimeter, gram og sekund som grundenheder. Under den følgende udvikling af elektromagnetismen kom dette cgs-system til at præge formuleringen af elektricitetslærens og magnetismelærens ligninger, og trods visse tvetydigheder har *Gauss-systemet* vist sig at være uhyre livskraftigt på disse områder. I eksperimentalfysik og teknik arbejdede man imidlertid med volt, ampere og ohm, og forbindelsen til Gauss-systemet var ikke simpel. Alligevel blev det først i 1948, at de praktiske elektriske enheder blev indføjet i systemet. Det skete gennem den definition af en ampère, som stadig gælder, og accepten af ampere som en grundenhed.

Opdagelsen af *Josephson-effekterne* [3, 4] og af *kvante-Hall-effekten* [5] medførte helt nye muligheder for at realisere enhederne volt og ohm. Brian D. Josephson forudsagde nogle effekter mellem to superledere,

der er adskilt af en isolerende hinde, der er så tynd, at de såkaldte Cooper-par kan tunnelleres mellem dem. Bestråles denne Josephson-kontakt med mikrobølger, vil strømmen mellem superlederne synkroniseres med mikrobølgefrekvensen f og overtoner heraf. Spændingsforskellen U_J over kontakten vil stabilisere sig ved værdierne

$$U_J = n f \frac{h}{2e} \equiv \frac{n f}{K_J}, \quad (1)$$

hvor n er et helt tal, h er Plancks konstant og e er elektronens ladning (elementarladningen); K_J kaldes Josephson-konstanten og er åbenbart defineret som $2e/h$. Ligningen kan læses som Bohrs frekvensbetingelse: Cooper-parret med ladning $2e$ gennemløber potentialændringen U_J , og energiændringen $2eU_J$ udsendes eller absorberes som n fotoner med energi hf . Med en strøm gennem kontakten kan man vælge hvilket trin n , spændingen stabiliseres på.

Hall-effekten opstår, når en strømførende leder anbringes i et magnetfelt vinkelret på strømretningen. Feltet søger at presse strømmen ud til den ene side af lederen, så der opstår en spændingsforskel V_H vinkelret på både strømretning og feltretning. V_H divideret med strømmen har enheden ohm og kaldes Hall-modstanden, R_H . R_H er normalt proportional med magnetfeltstyrken, men ved lav temperatur og kraftigt magnetfelt ses virkningen af en kvantisering af ladningsbærernes (elektroner eller huller) tilstande. I grænselaget mellem to forskelligt doterede områder i fx GaAs eller i grafén kan der opstå en *to-dimensional elektrongas*, og i denne kan kvantetilstandene spille sammen på en sådan måde, at R_H som funktion af magnetfeltet opviser skarpt definerede trin:

$$R_H = \frac{h}{j e^2} \equiv \frac{R_K}{j}, \quad (2)$$

hvor j er et helt tal. Det er denne effekt, der betegnes kvante-Hall-effekten. Konstanten R_K , defineret som h/e^2 , kaldes Klitzing-konstanten efter effektens opdager, Klaus von Klitzing.

Eksperimenter har vist, at de to konstanter, K_J og R_K , kan reproducere mere nøjagtigt, end en ampere kan realiseres efter den nugældende definition. Det seneste kvarte århundrede har de derfor været brugt som standarder for enhederne volt og ohm. Siden 1988 har der eksisteret et par "konventionelle værdier", konventionelle i betydningen aftalt (per konvention), så at volt og ohm har ensartede størrelser internationalt.

Herudover kan man se, at hvis man først har K_J og R_K , kan man finde elektronladningen e og Plancks konstant h lige så nøjagtigt, som man kender K_J og R_K . Omvendt kan man sige, at hvis man *definerer* e og h – som de nøjagtigst kendte værdier, naturligvis – forbedres definitionerne af volt og ohm, og dermed også af ampere. Det er denne ændring, som nu er på vej, analogt til hvad der skete med lyshastigheden. Hvis man fastlægger en værdi for h , har man imidlertid samtidig fastlagt størrelsen af et kilogram, **idet** enheden for h er: $J \cdot s = s^{-1} m^2 kg$. Det er nok værd at se nærmere på.

Det nye SI

– Forslag, godkendt oktober 2011 af CGPM som grundlag for det fortsatte arbejde (oversat fra den engelske tekst).

Det Internationale Enhedssystem, SI, er det enhedssystem, hvor:

- frekvensen svarende til hyperfinopsplittningen af grundtilstanden i atomer af cæsium 133 $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ er 9 192 631 770 hertz (eksakt),
- lyshastigheden i vakuum c er 299 792 458 meter per sekund (eksakt),
- Plancks konstant h er $6,626\ 06 \times 10^{-34}$ joule·sekund (eksakt),
- elementarladningen e er $1,602\ 17 \times 10^{-19}$ coulomb (eksakt),
- Boltzmanns konstant k er $1,380\ 6 \times 10^{-23}$ joule per kelvin (eksakt),
- Avogadros konstant N_A er $6,022\ 14 \times 10^{23}$ reciprokke mol (eksakt),
- lysstyrken K_{cd} af monokromatisk stråling ved frekvensen 540×10^{12} Hz er 683 lumen per watt (eksakt),

hvor

(i) herz, joule, coulomb, lumen og watt, med de respektive symboler Hz, J, C, lm og W, er relateret til enhederne sekund, meter, kilogram, ampere, kelvin, mol og candela, med de respektive symboler s, m, kg, A, K, mol og cd, ved ligningerne $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{m}^2\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}$, $\text{C} = \text{s}\cdot\text{A}$, $\text{lm} = \text{cd}\cdot\text{m}^2\text{m}^{-2} = \text{cd}\cdot\text{sr}$, og $\text{W} = \text{m}^2\text{kg}\cdot\text{s}^{-3}$,

(ii) symbolet X i forslaget repræsenterer et eller flere ekstra cifre, som skal føjes til talværdierne for h , e , k og N_A på grundlag af den nyeste CODATA justering,

hvoraf det følger, at SI vil bevare sine nuværende syv grundenheder, især

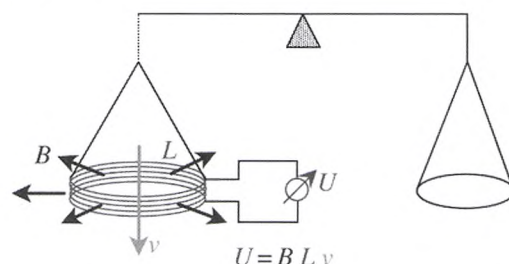
- vil kilogram fortsat være enheden for masse, men dets størrelse vil fremkomme ved, at Plancks konstant sættes præcis til $6,626\ 06 \times 10^{-34}$, når den udtrykkes i SI-enheden $\text{m}^2\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$, som er lig med J·s,
- vil ampere fortsat være enheden for elektrisk strøm, men dens størrelse vil fremkomme ved, at elementarladningen sættes præcis til $1,602\ 17 \times 10^{-19}$, udtrykt i SI-enheden s·A, som er lig med C,
- vil kelvin fortsat være enheden for termodynamisk temperatur, men dens størrelse vil fremkomme ved, at Boltzmanns konstant sættes præcis til $1,380\ 6 \times 10^{-23}$, udtrykt i SI-enheden $\text{m}^2\text{kg}\cdot\text{s}^{-2}\text{K}^{-1}$, som er lig med J·K⁻¹,
- vil mol fortsat være enheden for stofmængde af en nærmere specificeret partikeltype, som kan være atomer, molekyler, ioner, elektroner, vilkårligt andre eller en nærmere specificeret gruppe af sådanne partikler, men dens størrelse vil fremkomme ved, at Avogadros konstant sættes præcis til $6,022\ 14 \times 10^{23}$, udtrykt i SI-enheden mol⁻¹.

Fra Plancks konstant til kilogram

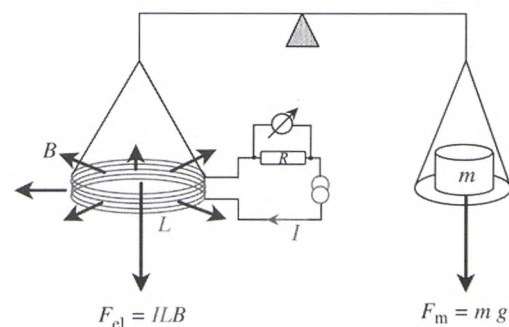
De to førømtalte kvanteeffekter gør det muligt [6] at forbinde en (makroskopisk) elektrisk effekt P med Plancks konstant gennem måling af to frekvenser: $P = U_{J1}I = U_{J1}U_{J2}/R$, hvor U_{J1} er spændingsforskellen over den modstand, hvori effekten afsættes, og U_{J2} er spændingen over en modstand R , som bruges til at måle strømmen I , og som kan være målt i forvejen vha. kvante-Hall-effekten. Ved hjælp af ligningerne (1) og (2) får man:

$$P = C f_1 f_2 h, \quad (3)$$

hvor f_1 og f_2 er Josephson-frekvenserne svarende til de to spændinger, og konstanten C indeholder produktet af de heltallige numre på de valgte trin på henholdsvis Josephson- og kvante-Hall-'trapperne'. Produktet af en spænding og en strøm kan med andre ord måles med samme nøjagtighed som Plancks konstant, idet frekvensernes usikkerhed er forsvindende i sammenligning med h 's.



Figur 3. Watt-vægten i den dynamiske fase. Spolen bevæges lodret med hastigheden v gennem et magnetfelt B , hvorved der induceres en spændingsforskel U . Fra [6].



Figur 4. Watt-vægten i den statiske fase. Spolen med længden L forsynes med strømmen I , der reguleres således, at magnetfeltets kraft på spolen, ILB , balancerer tyngdekraften mg på loddet med massen m . Fra [6].

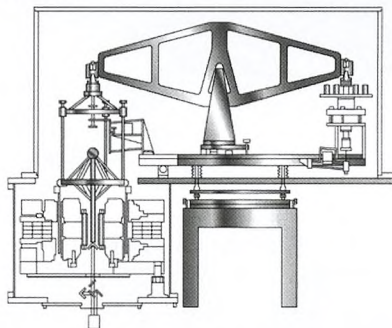
For omkring 30 år siden begyndte det engelske standardlaboratorium NPL at udvikle en vægt, som kunne forbinde en masse med Plancks konstant. Massen m lægges på den ene vægtskål. Hvis vægtskålen er i bevægelse med den lodrette hastighed v_z , vil tyngdekraften mg levere effekten mgv_z . Den anden vægtskål er erstattet med en cirkulær, vandret strømkreds med omkredsen L . Man skal nu forestille sig, at den bevæger sig (også med hastigheden v_z) i et magnetfelt, der har samme styrke B i alle punkter af strømkredsen, men som overalt er rettet bort fra dennes centrum (og som dermed ligger i kredsens plan). Herved induceres en

spænding $U = BLv_z$, der kan måles som beskrevet ovenfor.

Efter denne dynamiske måling foretages en statisk måling, hvor tyngden mg på massen balanceres ved at sende en strøm I gennem kredsen, hvilket giver Lorentz-kraften ILB . Man har således, at $BL = mg/I$. Når dette indsættes i den foregående ligning, får man:

$$UI = mgv_z. \quad (4)$$

Ligningens venstre side udgøres af en uhyre nøjagtig faktor gange h , og på højre side kan g og v_z findes ved nøjagtige længde- og tidsmålinger, hvorved den makroskopiske masse m er udtrykt ved den mikroskopiske konstant h . Produktet UI er ikke en virkelig effekt, for U og I er ikke til stede samtidig. Alligevel kaldes instrumentet en Watt-vægt (Watt balance, på engelsk). Flere landes standardlaboratorier er i gang med at udvikle forskellige varianter. Målet er at måle Plancks konstant i forhold til kilogram med nøjagtigheden 1 på 10^8 , reproducerbart mellem forskellige laboratorier. Når det er nået, vil det have god mening at tildele h denne værdi og dermed frigøre sig fra det gamle kilogramlod IPK.



Figur 5. En Watt-vægt, som den er udformet på National Physical Laboratory, England (det engelske standardlaboratorium). Til venstre ses magneten, som leverer et vandret, radiale magnetfelt omkring spolen, der hænger i vægtstangens ene arm. Til højre findes en vægtskål til lodder og en hjælpemagnet til at sætte vægtstangen i bevægelse. Fra [6].

Det nye SI

I oktober 2011 afholdtes den 24. almindelige konference for mål og vægt (CGPM). Her anbefalede man, at der arbejdes på en revision af SI i retning af den formulering, der er vist i boksen. Boksen gengiver den fulde, formelle tekst, fordi den meget klart lader os mærke duften af, hvad der er på vej.

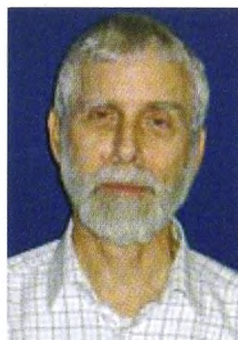
Som beskrevet ovenfor, kan definition af Plancks konstant og elektronens ladning erstatte de gældende definitioner af kilogram og ampere. Hvad angår enheden kelvin for den termodynamiske temperatur T , har blandt andre Richard D. Feynman hævdet [7], at den er overflødig, da den blot er et mål for energi. Det foreslåede nye SI følger delvis dette synspunkt ved at definere en værdi for Boltzmanns konstant k_B , idet $k_B T$ er en energi. For eksempel er molekylernes middelenergi i en enatomig ideal gas $\frac{3}{2} k_B T$. Med det nye SI vil vands tripelpunkt blive en temperatur, der skal måles, ligesom kogepunktet allerede er (ca. 99,98 °C).

I fire af de foreslåede talværdier forekommer et 'X'. Det skal forstås som erstatning for et eller flere cifre, som man forventer at kunne fastlægge inden den næste CGPM i 2015. Der er en række præcisionsmålinger i gang i disse år for at finde de mest nøjagtige værdier, som det for tiden er muligt at observere for de pågældende naturkonstanter. Ordet 'eksakt' markerer, at de pågældende konstanter skal gælde med usikkerheden 0. Nogle af forslagens forfattere [2] udtrykker en vis stolthed over, at det er lykkedes at formulere det nye SI i én sætning – man kan bemærke, at der i den citerede tekst kun er et eneste punktum. Det er lidt af et kuriosum, men teksten er udmærket læselig alligevel.

Til slut er det måske lige værd at understrege, at de påtænkte ændringer kun har betydning for de allermest krævende fremtidige målinger. Vores badevægte og tommestokke vil være lige så gode som før.

Litteratur

- [1] <http://www.bipm.org/>
- [2] Ian M. Mills, Peter J. Mohr, Terry J. Quinn, Barry N. Taylor and Edwin R. Williams: Adapting the International System of Units to the twenty-first century, *Phil. Trans. R. Soc. A*, **369**, 3907 - 3924 (2011).
- [3] Brian D. Josephson: Possible new effects in superconductive tunnelling, *Phys. Lett.* **1**, 251 - 253 (1962).
- [4] Sidney Shapiro: Josephson currents in superconducting tunnelling: the effect of microwaves and other observations, *Phys. Rev. Lett.* **11**, 80 - 82 (1963).
- [5] K.V. Klitzing, G. Dorda, and M. Pepper: New method for high-accuracy determination of the fine-structure constant based on quantized Hall resistance, *Phys. Rev. Lett.* **45**, 494 - 497 (1980).
- [6] M. Stock: The watt balance: determination of the Planck constant and redefinition of the kilogram, *Phil. Trans. R. Soc. A*, **369**, 3936 - 3953 (2011).
- [7] Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, and Matthew Sands: The Feynman Lectures on Physics (Addison-Wesley, Reading, Massachusetts 1977), side 39-100.
- [8] Martin J. T. Milton: A new definition of the mole based on the Avogadro constant: a journey from physics to chemistry, *Phil. Trans. R. Soc. A*, **369**, 3993 - 4003 (2011).
- [9] R.S. Davis: The role of the international prototype of the kilogram after redefinition of the International System of Units, *Phil. Trans. R. Soc. A*, **369**, 3975 - 3992 (2011).
- [10] <http://en.wikipedia.org/wiki/>



Finn Berg Rasmussen har gennem sin tid som lektor ved Niels Bohr Institutet studeret faste og flydende stoffer ved lave temperaturer (termiske, elektriske og magnetiske egenskaber). Er nu pensioneret. Medlem af KVANT's redaktion.

Universets begyndelse

Af Erik Høg, Peter Laursen og Johan Samsing, Niels Bohr Institutet

Vi gør op med populære misforståelser for at skabe mere klarhed. Teorien om Big Bang handler *ikke* om Universets skabelse men om Universets udvikling, og teorien siger *ikke*, at Universets ekspansion er resultat af en eksplosion. Universet begyndte sin ekspansion ved Big Bang som beskrevet af George Gamow og medarbejdere i 1948. Men de forudsagde ikke klart eksistensen af den kosmiske baggrundsstråling af mikrobølger, der først blev opdaget i 1965 af Penzias og Wilson. Dette forløb er emnet for denne artikel, der også beskriver den kosmiske horisont og Universets videre udvikling i de forløbne 13.700 millioner år.

Universets begyndelse

Vort Univers begyndte for 13,7 milliarder år siden ved en proces, vi ikke kender, fordi de relevante kendte naturlove, relativitetsteori og kvantemekanik, ikke er gyldige ved den enorme temperatur, der fandtes i den allerførste tid på en brøkdel af et (mikro)sekund. Hvad der skete i de første 10^{-43} sekund, den såkaldte Planck-tid, ved vi derfor intet om. Den tid er så kort, at den med en vis ret kaldes for Universets skabelsesøjeblik af astronomen Joseph Silk [1] (s. 104).

Universets videre udvikling ved vi rigtig meget om på basis af observationer og den teori, der kaldes Big Bang, som efterhånden er blevet godt underbygget. Derimod er alt, hvad der ligger forud et oplagt emne for spekulationer, da mennesker altid har spurgt om netop dette og fået mange forskellige svar.

De første 10^{-12} sekund, dvs. et picosekund, efter Plancktiden er dog kun mere eller mindre kvalificerede gætterier. Derefter faldt temperaturen nok til, at vi kan genskabe forholdene i store partikelacceleratorer, hvorfor vi mener at have rimelig styr på, hvad der derefter fandt sted.

Spørgsmålet om, hvad der var før Big Bang, er diskuteret i [2], hvor det nævnes, at der skrives meget vildledende eller direkte forkert om Big Bang, bl.a. af undervisningsministeriet i en tekst fra 1995-99 under kategorien kristendomskundskab. Noget er ganske vist rigtigt, men meget er forkert, og intet er ændret nu, tre år efter at ministeriet blev gjort opmærksom på fejlene. Der står fx stadig: "Universet omfatter...ALT". Det har ingen grænse, det er uendeligt – men hvordan blev det til? Den mest udbredte videnskabelige teori om Universets skabelse er 'Big Bang-teorien'.

Ministeriet skriver derefter: "Ifølge denne teori opstod universet ved en gigantisk urekspllosion." Men der var *ikke* nogen eksplosion, som med et vældigt tryk slynger alt udad. For at have en eksplosion må man have noget stof ved højt tryk, omgivet af et undertryk. Under Big Bang var der samme tryk overalt i Universet, og det var – og er stadig – hele Universets tredimensionale rum, der udvider sig. Så ordet 'urekspllosion' må ikke tages for bogstaveligt. Kosmologer ser ekspansionen

som en fundamental egenskab ved Universet, som de prøver at forstå nærmere, men der er lang vej endnu. Se nedenfor om 'kosmisk inflation'.

Man må dog undskylde ministeriet, fordi også astronomer tit bruger ordene skabelse og eksplosion om Big Bang, men de siger ikke dermed noget om, *hvordan* Universet blev skabt. De kan kun sige *hvornår* det *begyndte* med noget, der lignede en eksplosion. Forfatterne synes, at ministeriet og alle astronomer bør være med til at aflive misforståelser og stræbe efter klarhed.¹

Herved er forskere og et ministerium nævnt for at skabe misforståelser, til dels uoverlagt. For mediernes vedkommende ses det samme tit som et bevidst element i en salgsteknik, men det er vel almindelig bekendt.

Selve ordet Big Bang blev brugt første gang af Fred Hoyle i en radioudsendelse i 1949, men beviseligt ikke i nedsættende betydning om teorien, hvad myten ellers vil vide. Ordet er siden blevet hængende, og det rummer jo noget rigtigt om en høj temperatur og stofdele, der flyver bort fra hinanden. Men som så ofte giver et ord kun en ufuldstændig beskrivelse.

Selve rummets udvidelse eller ekspansion måler man ved spektroskopi, idet man ser, at spektrallinierne for de fjerne galakser forskydes mod rødt, jo mere jo fjernere de er fra os. Rummet fører altså galakserne med sig, uden at det kræver nogen kraft! Rummets udvidelse betyder ikke, at galakserne eller vort solsystem trækkes i stykker, for tyngdekraften holder systemerne sammen. Endnu mindre bliver dit bord eller dit hus revet i stykker, fordi kræfterne mellem molekylerne er langt stærkere end tyngdekraften.

Endnu engang til det spørgsmål, som alle stiller og som mange har en mening om: Hvad var der før Big Bang? Mange forskere mener, at vi intet kan sige om selve tidens begyndelse, fordi de kendte fysiske love ikke gælder. Men den engelske fysiker Stephen Hawking har i 1988 povet et svar, som har betydelig tilslutning blandt andre eksperter: "Selve tiden begyndte med Big Bang... at spørge hvad der gik forud, har ikke mere mening, end at spørge, hvad der ligger syd for Jordens sydpol, og det er jo et meningsløst spørgsmål", her citeret fra astrofysiker Igor Novikov [3] (s. 220).

¹Det hæmmer forståelsen og skaber kun uklarhed, når man serverer Guds tanker om Universet. Det giver ganske vist underholdning og publicitet, især når det gøres med en god portion humor, og når det kommer fra store forskere som Stephen Hawking, som tilsyneladende ønsker at kende 'Guds tanker', og Holger Bech Nielsen, der leverer en formel for Guds eksistens!

Novikov fortsætter i sin bog, der netop handler om tiden: "The River of Time": "Det viser en situation hvor tiden er endelig, der er ingen uendelig fjern fortid..."

Det må man acceptere som alvorlige forsøg på svar fra forskere, som ikke bare kan afvises, selvom de i denne sammenhæng nødvendigvis må stå uden beviser. Det drejer sig om tiden, som den forstås i Einsteins relativitetsteori fra 1905 og 1916. Denne teori eller naturlov har sammen med atomfysikken eller rettere kvantemekanikken vist sig at være uhyre nøjagtig i beskrivelsen både af planeternes bevægelser og af de mest ekstreme forhold i Universet. Det er fysiske forhold, som vi ikke har nogen direkte erfaring med. Meninger begrundet med "at den sunde fornuft siger, der må da have været noget" eller begrundet med spekulationer kan ikke bruges her, kun matematisk-fysiske beregninger.

Hawking, Novikov, Bech Nielsen og mange andre arbejder på at knytte relativitetsteori og kvantemekanik sammen, altså på at beskrive tyngdekraft og atomare kræfter med én eneste teori, måske en såkaldt strengteori, der skal have endnu større gyldighed end disse to.

Nogle forskere arbejder med idéer om mange universer, måske uendelig mange, tilsammen kaldet 'Multiverset'. Et af dem er vort univers, det vi lever i, det eneste vi kan observere, og kun om dette handler denne artikel.

Universet bliver transparent

Det ekspanderende Univers afkøles som nærmere forklaret nedenfor, og efter ca. 380.000 år var det kun 3000 K varmt.² Forholdene ved dette tidspunkt skal vi se nærmere på.

Nu kunne de frie elektroner binde sig til protonerne ved den stærke gensidige elektriske tiltrækning, så der dannedes hydrogenatomer; helium var allerede rekombineret ved en højere temperatur. Betegnelsen 'rekombination', genforening, er dog lidt forkert her, da elektronerne aldrig før havde været bundet til nogen atomkerne! Gassen blev derved transparent for den optiske stråling, og de fotoner, der netop var undervejs kunne fortsætte uhindret i stedet for at blive spredt af de frie elektroner.

I dag, 13.700 millioner år senere (minus de 0,38 millioner år, men det er så kort tid, at vi ser bort fra det) modtager vi de fotoner, der netop havde retning mod det sted, hvor Solen blev dannet meget senere (se figur 1). De optiske fotoner med bølglængder omkring en mikrometer er i mellemtiden blevet strakt ud til det 1100-dobbelte, fordi rummet ifølge den almene relativitetsteori har udvidet sig med denne faktor. Bølglængden er blevet omkring en millimeter, det optiske lys er blevet til den kosmiske baggrundsstråling af mikrobølger (Cosmic Microwave Background radiation, CMB). Spektret af strålingen er stadig som beskrevet i Plancks formel for et sort legemes stråling, som det

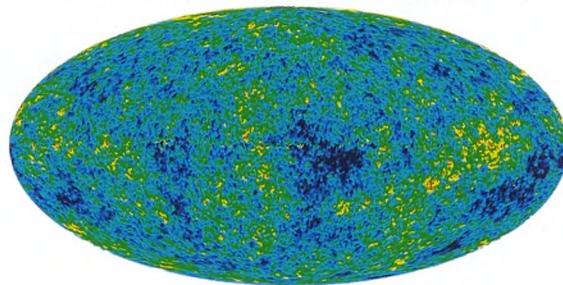
også var i den glødende gas.

Denne simple og anskuelige beskrivelse kunne Gamow og næsten enhver astrofysiker have skrevet dengang, i 1948, og således have forudsagt CMB som en stråling, vi kan modtage og måle, men de bruger andre ord, der først vakte opmærksomhed senere. Hvor findes denne beskrivelse første gang? Måske en læser kender svaret?

Gamow og medarbejdere undersøger i 1940'erne som de første Universets udvikling fra et Big Bang ved hjælp af kendte fysiske love for atomare partikler. De bruger dog aldrig betegnelsen 'Big Bang' [6] (s. 120), som de finder misvisende, fordi deres undersøgelser drejer sig om Universets udvikling, ikke om selve Universets begyndelse. Efter 1953 hører deres arbejde med Big Bang op, og det bliver først genoptaget af andre efter opdagelsen af CMB i 1965. Dog var andre på sporet af CMB før 1965 både teoretisk og ved observationer, som beskrevet i [6].

Universets temperatur

Gamow og hans medarbejdere Ralph A. Alpher og Robert C. Herman beregner i 1948 [7] den nuværende temperatur af den afkoblede gamle stråling til 5 K. Alpher og Herman gør det klart i 1949 [8], at hvad de havde kaldt 'rummets temperatur' er en udbredt sortlegeme baggrundsstråling helt forskellig fra stjernelys, men det gør intet indtryk på nogen dengang. Man kan med Wiens forskydningslov beregne bølglængden til omkring 0,6 mm, altså mikrobølger (på grænsen til infrarød stråling), men ingen nævnte dette.



Figur 1. Billede af hele himlen i mikrobølgestrålingen. Temperaturen er målt til 2,725 Kelvin, altså knap tre grader Kelvin over det absolutte nulpunkt. Variationerne fra sted til sted på himlen, som ses på billedet, svarer til kun ca. 18 mikro Kelvin i den modtagne stråling og til mindre end 0,1 K i den oprindelige glødende gas (NASAs WMAP satellit).

Gamow (1952) [9] taler kun om 'Universets temperatur', men han nævner aldrig, at der er tale om en stråling, der har et spektrum som fra et sort legeme, og han nævner ikke elektronerne indfangning ved 3000 K. Han beregner, at Universets temperatur var 3000 K, da det var en million år gammelt, og skriver, at det nu er 50 K varmt. Det finder han i rimelig overensstemmelse med den målte temperatur på 100 K i det interstellare rum, der er opvarmet af stjernerne. Han beregner også tætheden af 'den meget kolde stråling' til 10^{-27} gram

² Alle temperaturer er angivet som grader Kelvin (K), dvs så mange grader over det absolutte nulpunkt, der ligger ved minus 273,15 grader Celsius. De angivne tal er for simpelhedens skyld kun omtrentlige. Afstande, tider og temperaturer er beregnet ved hjælp af WolframAlpha kalkulatoren med de antagelser for Universet, som man har brugt i snart mange år vedrørende parameterværdier og mørkt stof, se [4] og [5].

per kubikcentimeter, men han nævner aldrig en stråling, der har været undervejs siden elektronerne blev bundet.

Overgangen fra ioniseret til neutral gas, dvs fra plasma til neutral gas, kaldes normalt rekombination. Man kan sammenligne med et neonrør, som indeholder et helt uigennemsigtigt plasma, når det er tændt, og er gennemsigtigt, når det er slukket.

Rekombinationen skete meget nær samtidigt i hele Universet, idet temperaturen på 3000 K var den samme overalt inden for kun 0,1 grad. Det var altså et meget ensformigt Univers, som man fristes til at kalde ked-sommeligt. Det er jo kontrasterne, der gør vores verden smuk og spændende, som fx nattehimmelen med stjerner og en fugl med spraglede fjer.

Før rekombinationen er stof og stråling i termisk ligevægt. Strålingen og dermed stoffet, altså bl.a. protoner og elektroner, bliver koldere, fordi selve rummet og derved strålingens bølgelængde ekspanderer.³

Efter rekombinationen vekselvirker den frigivne stråling og stoffet næsten ikke mere med hinanden. Strålingen bliver stadigvæk koldere, fordi selve rummet ekspanderer. Stoffet derimod, altså hydrogen-helium gassen, er ikke mere i termisk ligevægt, så man kan nu ikke tale om en enkelt temperatur for stoffet. Temperaturerne varierer i dag fra millioner af grader i stjernernes indre til under 100 Kelvin for gassen mellem stjernerne. Ved denne lave temperatur bevæger atomerne sig så langsomt, at de kan hæfte sig sammen til støv og større partikler. Tyngdekraften kan så gøre sig gældende og trække partiklerne sammen til stjerner og planeter.

Afstande i Universet

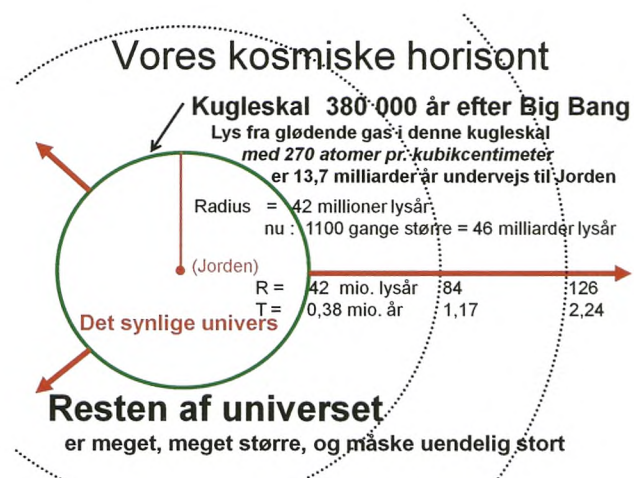
I det følgende skal vi tale om afstande i Universet. Det er ikke så enkelt, hvad der gøres nærmere rede for i [4]. I denne artikel anvendes dog kun det, man i kosmologien kalder for 'proper distance' på engelsk, og på dansk: 'metrisk afstand' eller 'egenafstand'. Afstande kan angives i kilometer, men i astronomien anvendes enhederne lysår (= 9460 milliarder km) eller parsec (= 3,26 lysår).

Den kosmiske horisont

Der findes en artikel på dansk [11] om dette emne, som vi nu vil gennemgå nærmere. Vi indfører en ny terminologi, så man bekvemt kan skelne mellem den oprindelige glødende gasskal, som vi nu modtager CMB fra (se figur 2), og på den anden side den meget større kugleskal, som man plejer at kalde den kosmiske horisont, der indeholder det samme stof, men nu i form af stjerner og galakser.

Den baggrundsstråling, som vi modtager i dag, begyndte sin vej gennem Universet i en sådan afstand, at den har brugt 13,7 milliarder år for at nå os. Det betyder, at den blev udsendt fra en tynd kugleskal med os som centrum, og hvis radius vi beregner til at være 46 milliarder lysår på nuværende tidspunkt. Denne store

kugleskal kaldes 'vores kosmiske horisont'. Dette må ikke forstås som, at vi kan eller vil kunne observere de stjerner og galakser, der findes derude nu.



Figur 2. Den oprindelige glødende gasskal udvider sig sammen med hele Universet som vist ved de punkterede cirkler, hvor radius og tidspunkt er angivet ved R og T . Stoffet i skallen har siden dannet stjerner og galakser, som nu befinder sig i en afstand af 46.000 millioner lysår.

Denne store radius kan forklares således: Da Universet udvider sig hele tiden, mens lyset rejser gennem det, når lyset længere end 13,7 mia. lysår på 13,7 mia. år.

Eftersom Universet har udvidet sig med en faktor 1100, havde kugleskallen med dette stof en radius på 42 millioner lysår på det tidspunkt lyset blev udsendt, altså da det blev spredt for sidste gang af elektronerne i det, vi kalder gasskallen eller den oprindelige kugleskal.

Gassen i Universet og dermed i gasskallen bestod af hydrogen og helium og havde ved rekombinationen en tæthed på 270 atomer per kubikcentimeter, omtrent som det bedste vakuum man kan skabe i laboratoriet.

Det lys, der ved rekombinationen blev udsendt længere ude og også havde retning mod os, har ikke nået os endnu. Det, der samtidig blev udsendt nærmere ved os, er allerede passeret. Hverken gasskallen eller den meget større kosmiske horisont er fysiske grænser i Universet, som man kunne 'støde imod'. Det er noget vi definerer, noget vi tænker os. Enhver iagttager et andet sted i Universet har sin egen gasskal og sin egen kosmiske horisont.

Selve vores gasskal omfatter det synlige eller observerbare Univers, altså det vi kan observere i dag, og det som skete, netop da Universet blev transparent. Det synlige Univers for senere begivenheder, for eksempel dannelsen af de første stjerner, har en mindre radius, svarende til at lyset har haft mindre tid til at nå os.

Imidlertid kan der være signaler fra før rekombinationen, for eksempel gravitationsbølger, som kommer fra steder i Universet uden for den kosmiske horisont for synligt lys, men som dog endnu ikke er blevet

³Strålingens afkøling under Universets ekspansion følger altså af den almene relativitetsteori. Man kan ikke anvende den klassiske termiske gasteori for at forstå fænomenet. Mere om Universets termodynamik findes fx i Kolb og Turners bog 'The Early Universe' fra 1990 [10].

detekteret. De kosmiske neutrinoer kom også fra et tidligere tidspunkt, idet de slap fri af stoffet kun to sekunder efter Big Bang. Disse superlette elementarpartikler farer uhindret igennem alt med lyshastighed, også gennem en tæt ioniseret gas, fx gennem selve Solen.

Den kosmiske horisont omfatter det synlige eller observerbare Univers nu. Radius bliver større med tiden, da lyset får længere tid til at nå os. Universet udenfor horisonten er meget, meget større, og måske uendelig stort. Observationer viser, at Universets overordnede geometri er 'flad'; kosmologernes udtryk for den tredimensionale analogi til en todimensional bordplade. Men pga. måleusikkerheder kan det ikke helt udelukkes, at geometrien er 'lukket', dvs. som overfladen på en badebold, i hvilket tilfælde det har et endeligt volumen. Men uanset hvad kommer vi aldrig til at kunne udtale os med 100 % sikkerhed om, hvad der ligger *udenfor* det observerbare Univers, så det er et åbent spørgsmålet om Universet er uendeligt.

Hertil må bemærkes, at hvis Universet er uendeligt nu, så var det også uendeligt, da det begyndte ved Big Bang. I så fald var Universet altså *ikke* meget lille, da det begyndte, hvad der ellers siges i mange populære beskrivelser af Big Bang. Men alle afstande i Universet var bare meget mindre.

Universet antages i store træk at være ens overalt, altså når man tager middel over meget store områder. Denne hypotese kaldes det kosmologiske princip om Universets homogenitet, og anvendes ved de fleste kosmologiske undersøgelser. Den har hidtil vist stor gyldighed, større end man kunne forvente, da antagelsen blev indført af Einstein for snart hundrede år siden, da man kun kendte en meget lille del af Universet, og før ekspansionen blev opdaget.

Disse forhold beskrives uden modsigelser ved hjælp af den almene relativitetsteori. I de hundrede år siden Albert Einstein fremsatte teorien har der været mange forslag til alternativer eller forbedringer, som dog ikke har haft nogen lang levetid. Det betyder ikke, at teorien anses for at være den endelige sandhed, men den har i hvert fald været en meget frugtbar tilnærmelse.

Er Universet uendeligt?

Antagelserne om Universets homogenitet og den almene relativitetsteori passer rigtig godt med en lang række observationer, også når man medtager mørkt stof og mørk energi. Med disse antagelser kan man svare på spørgsmål om Universets endelighed eller uendelighed, fordi spørgsmålene da udelukkende kommer til at dreje sig om matematik.

Alligevel kan man ikke regne med at enhver astronom vil svare, det er nemlig ikke sådanne spørgsmål, astronomer arbejder med til hverdag. Vi har endda truffet kosmologer, der siger, at spørgsmålene ikke har nogen mening. Men her følger nogle svar fra andre kosmologer, som vi har stor tillid til.

Nogle begreber skal først defineres. Relativitetsteorien beskriver tyngdekraften som en krumning af selve rummet på grund af tunge legemer som Jorden,

planeter, stjerner osv. Med denne teori kan fx satelliters bevægelse beregnes nøjagtigere end med Newtons tyngdelov. Der er ganske vist kun små forskelle, men de har stor praktisk betydning fx i forbindelse med GPS systemet. Rummet har altså lokale krumninger, men det er muligt, at Universet som helhed slet ikke har nogen krumning, eller at det har en krumning, som vi dog har målt til at være ganske lille.

Hvis det slet ikke har nogen krumning, siger man, at det er fladt, at det er Euklidisk, hvilket medfører, at det er uendeligt. Universet som helhed kan også tænkes at have en krumning, og denne kan være positiv eller negativ, alt sammen indenfor de antagelser, vi gjorde ovenfor.

Negativ krumning skal vi ikke komme ind på men kun nævne, at Gamow i sin bog fra 1952 på s. 35 skriver: "...da Universet er, og altid har været, uendeligt...", og på s. 43: "...de kendte observationer synes at pege stærkt på ... et uendeligt Univers ... med negativ krumning." Men denne beskrivelse fra 1952 holdt slet ikke, som det fremgår af denne artikel.

Positiv krumning betyder, at Universet ikke er fladt, at det er ikke-euklidisk, og at det er endeligt. Et endeligt Univers har et endeligt rumfang, der findes kun endeligt store afstande, men der er ikke en grænse nogetsteds i Universet, som fx lyset kunne møde. Alt dette kan beskrives matematisk uden nogen indre modstrid og samtidig med, at Universet antages at ekspandere.

Hvis man slipper det kosmologiske princip, altså antagelsen om Universets homogenitet, kan man stadig anvende relativitetsteorien. Det åbner selvfølgelig mange muligheder, men vi skal kun komme ind på den ene mulighed, at Universet uden for vores kosmiske horisont er helt tomt.

Vi får ganske vist ingen direkte signaler derfra, som man kunne observere. Men den manglende tyngdekraft ville have gjort sig bemærket, især i den del af rummet, der ligger lige indenfor, og det er der intet spor af i kendte observationer. Desuden viser figur 1, at den oprindelige glødende gasskal ser meget nær ens ud i alle retninger på himlen. Af disse grunde er vi sikre på, at der findes stof længere ude. Det ville jo også være besynderligt, hvis Jorden netop befinder sig lige midt i den del af Universet, som indeholder stof.

Teorien om kosmisk inflation blev behandlet i Kvant nr. 4, 2010 [12]. Ifølge denne teori herskede der i Universets allerførste øjeblikke et negativt tryk, hvilket giver anledning til en eksponentiel ekspansion af selve rummet. Inflationen varede kun ca. 10^{-32} sekunder, men på denne tid voksede Universet med ekstrem hastighed (to punkter separeret med et atoms afstand, ville efter inflationen ligge ca. et lysår fra hinanden). Efter inflationen begynder den gensidige tyngdekraft fra al stoffet at bremse udvidelse, men pga. de ekstreme hastigheder kun ganske langsomt.

Hvis inflationsteorien er sand, giver den også en naturlig forklaring på Universets homogenitet: Universet kan i princippet være inhomogent og være ikke-fladt, men pga. den ekstreme inflation vil dette være på skalaer meget større end det observerbare Univers, og

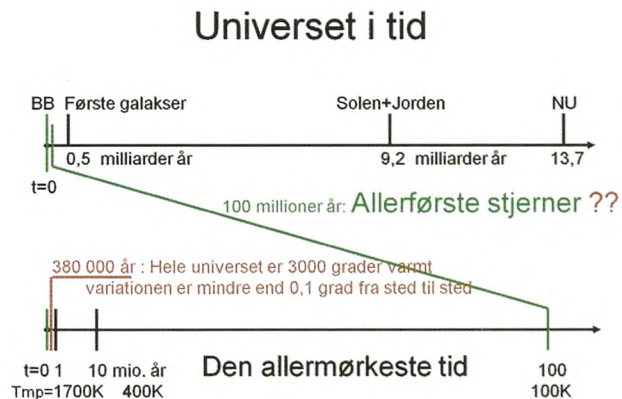
dermed ikke have den ringeste betydning for hvad vi nogensinde vil få at se.

Endelig skal vi omtale teorien om det oscillerende univers. Mange læsere vil huske, at man tidligere talte om, at Universet ekspanderer, og at det måske senere ville trække sig sammen og nå en stor kompression, 'the Big Crunch', så det ved et nyt Big Bang igen ville ekspandere. Den mulighed kan beskrives af relativitetsteorien. At denne matematiske teori er så fleksibel blev opdaget allerede i 1922 af Alexander A. Friedmann, og det måtte anses som en mulighed for det virkelige Univers, som vi lever i.

Men de moderne observationer peger slet ikke i den retning, tværtimod er det blevet påvist, at Universet udvider sig hurtigere og hurtigere. Det blev fastslået i 1998, da observationer af fjerne supernovaer viste, at Universet ikke som tidligere antaget bliver bremsat af tyngdekraften, med derimod accelererer i sin udvidelse. I 2011 blev Nobelprisen i fysik givet til S. Perlmutter, A. Riess & B.P. Schmidt for denne opdagelse. Læs om denne opdagelse og baggrunden for den i Kvant nr. 4, 2011 [13].

Universet i tid

Universets udvikling fra Big Bang over stjerner, galakser, Solen og Jorden op til NU er vist i figur 3. De første stjerner dannes efter ca. 100 millioner år, så vidt man for tiden skønner ud fra simuleringer af gassens udvikling. I den allermørkeste tid fra rekombinationen indtil de første stjerner dannes, køler CMB til 1700 K, 400 K, og 100 K ved henholdsvis $t = 1, 10$ og 100 millioner år.



Figur 3. Universets udvikling fra Big Bang over stjerner, galakser, Solen og Jorden op til NU. Tiden fra rekombinationen indtil de første stjerner dannes ved 100 millioner år kan kaldes den allermørkeste tid, og i den tid køler baggrundsstrålingen til 100 K.



Figur 4. Det fjerneste objekt, man kender med sikkerhed, er en galakse GN-108036, der udsendte lys, da Universet var 750 millioner år gammelt. Den ses her i det lille kvadrat på en optagelse fra Hubble Ultra Deep Field og i de forstørrede billeder til højre.

Men disse første stjerner er ikke i stand til at oplyse Universet, så man plejer at sige, at Den Mørke Æra slutter, efter at gassen igen er blevet ioniseret af stjernernes ultraviolette stråling, en proces der kaldes

'reionisationen'. Det sker ved en temperatur på ca. 30 K for CMB, dengang da Universets alder er ca. 400 millioner år.

De første galakser er nok dannet omkring 500 millioner år efter Big Bang, idet man har observeret gammaglimt og galakser fra den tid. Figur 4 viser en galakse, der ikke er helt så gammel, men har en nøjagtig bestemt alder målt gennem en rødforskydning på $z=7,2$. Ved en alder på 750 millioner år var Universet kun et barn på fem år, hvis vi sætter det nuværende gamle Univers til 100 år.

I [4] findes referencer og en figur af en endnu fjernere galakse, hvis afstand dog endnu ikke kendes nøjagtigt.

Skabelsen ifølge Gamow 1952

George Antonovich Gamow (1904-68) var den der frem for nogen satte undersøgelsen af Universets tidligste udvikling på rette spor baseret på atomteori og kvantemekanik. Hans forestilling om hvad der gik forud, altså hvad der var før Big Bang, finder vi i hans lille bog [9] (s. 134), her meget kortfattet og frit oversat: "Et billede af skabelsesprocessen begynder at aftegne sig, dengang Universet befandt sig i et gigantisk kollaps. Selvfølgelig har vi ingen information om den æra, som kan have været fra minus uendelig til milliarder af år ... Universets masser kom ud af kollapset ved en temperatur på en milliard grader, men efter mindre end en time var atomer dannet..."

Denne gamle vision om et gigantisk kollaps, the Big Crunch, før Big Bang, har ikke kunnet holde, mens Gamows idéer om, hvad der kom derefter, har været fantastisk bæredygtige.

Litteratur

- [1] J. Silk (1980), The Big Bang – the Creation and Evolution of the Universe. W.H. Freeman and Company.
- [2] E. Høg (2008), Hvad var der før Big Bang? www.astro.ku.dk/~erik/FoerBigBang.pdf.
- [3] I.D. Novikov (1998), The River of Time. Cambridge University Press.
- [4] J. Samsing & E. Høg (2012), Noter til kosmologi, <http://dl.dropbox.com/u/49240691/KosmoNote3.pdf>.
- [5] B. Ryden (2002), Introduction to Cosmology. Addison Wesley.
- [6] H. Kragh (1996), Cosmology and Controversy – The Historical Development of two Theories of the Universe. Princeton University Press.
- [7] R.A. Alpher, H. Bethe, and G. Gamow (1948), The origin of chemical elements. *Physical Review* 73: 803-4.
- [8] R.A. Alpher and R.C. Herman (1949), Remarks on the evolution of the expanding univers. *Physical Review* 75: 1089-99.
- [9] G. Gamow (1952), The Creation of the Universe, Dover Science Books 1961.

- [10] E. Kolb og M. Turner (1990), The Early Universe, Addison-Wesley.
- [11] E. Høg (2007), Lyset fra verdens begyndelse, <http://www.astro.ku.dk/~erik/AlderLys.pdf>.
- [12] M.C. Andersen og John Rosendal Nielsen (2010), Big Bang og inflation, KVANT nr. 4, 2010.
- [13] Hans Ulrik Nørgaard-Nielsen og Leif Hansen (2011), Årets nobelpris i fysik bygger videre på resultater opnået af danske forskere, KVANT nr. 4, 2011.
- [14] A.A. Penzias and R.W. Wilson 1965. A measurement of excess antenna temperature at 4080 Megacycles/s. *Astrophys. J.* 142: 419-21.
- [15] WolframAlpha-kalkulatoren: www.wolframalpha.com.



Erik Høg, dr. scient i astronomi. Har arbejdet ved Hamborg Observatoriet 1958-73 og ved Københavns Universitet 1953-58 og 1973-2002, hvor han gik på pension. Han har især arbejdet med måling af positioner, bevægelser og afstande af stjerner med højest mulig præcision, fra Jorden og med to satellitter Hipparcos og Roemer/Gaia.



Peter Laursen er astrofysiker, ph.d. fra Dark Cosmology Centre, KU, og er nu postdoc ved Stockholms Universitet. Han forsker i hvordan lys bevæger sig gennem Universet, især lys fra de allerfjerneste – og dermed allertidligste – galakser. Ved at sammenligne resultater fra omfattende computerberegninger med observationer, foretaget med teleskoper bl.a. i Chile og på La Palma, prøver han at forstå hvordan galakserne blev dannet, og hvordan Universet tog sig ud dengang.



Johan Samsing er astrofysiker og ph.d.-studerende ved Dark Cosmology Centre, KU. Forsker i Universets mørke stof og mørke energi. Arbejder også med røntgenastronomi og for nyligt tillige med stjerners bevægelser i kuglehobe.

Atacama Large Millimeter Array

– en ny æra i udforskningen af galakser

Af Thomas R. Greve, Dept. Of Physics & Astronomy, University College London, England

Den tidsalder hvor de første stjerner og galakser blev dannet, omkring et par hundrede millioner år efter big bang, er én af de dårligst forståede tidsaldre i Universets historie. Det næste store gennembrud i vores forståelse af disse tidlige galakser vil komme fra "ALMA" – en stor park af radioteleskoper i den chilenske ørken – som er designet til, at observere gas og støv i galakser. ALMA er netop begyndt at indsamle de første data og det vil, i de kommende år, føre til en sand revolution i vores forståelse af én af Universets mørkeste tidsaldre.

Universets mørke tidsalder

Det må betragtes som en kuriositet i moderne astrofysik, at vores forståelse af Universets egenskaber og dets udvikling i perioden fra det første splitsekund efter big bang til omkring 380.000 år senere – hvor der var dannet skyer af neutral brintgas – i mange henseender er *bedre* end vores forståelse af, hvordan de første stjerner og galakser dannedes ud af den neutrale gas et par hundrede millioner år senere. Disse første stjerner og protogalakser var *formentligt* de første gravitationelt bundne objekter i Universet, og pga. deres udsendelse af UV-lys begyndte disse første objekter at *re-ionisere* den såkaldte intergalaktiske gas omkring dem – gas som havde været neutralt siden rekombinationen (protoner og elektroner fra den 'primordiale plasmasuppe' kunne først rekombinere og danne neutralt atomart brint, da Universet havde kølet tilstrækkeligt, til ca. 3000 K). I takt med at flere og flere stjerner og galakser blev dannet, undergik større og større områder af Universet re-ionisation, og disse områder voksede med tiden sammen indtil, omtrent en milliard år efter big bang, hvor hele Universet var blevet re-ioniseret. Denne kosmiske epoke varede fra tiden, hvor de første stjerner og galakser dannedes (svarende til en rødforskydning på $z > 15$) til tiden hvor hele Universet var re-ioniseret (svarende til en rødforskydning på $z \approx 6$) kaldes *den kosmiske re-ionisationsperiode*, og på trods af dens fundamentale betydning for vores forståelse af galaksers dannelse og udvikling, ved vi så godt som ingenting om denne epoke af Universets historie. Af denne grund er de mest presserende, ubesvarede spørgsmål, der knytter sig hertil, tilsyneladende ganske basale:

1. Hvordan og hvornår dannedes de første galakser? Tunge protogalakser er muligvis dannet på relativt kort tid gennem en række mindre intense stjernedannelsesområder i proto-skyen. Man kunne også forestille sig et såkaldt monolitisk kollaps hvor gasskyen kolliderer og blive til et stort stjernedannende område. Man forventer, at mindre tunge galakser formentligt er dannet mere gradvist via en mere behersket, adstadig tilstrømning af gas til protogalaksen.
2. Hvordan udviklede de første protogalakser sig, dvs. hvad er deres evolutionære forbindelse til

galaksepopulationer ved $z < 6$? Skete der en passiv udvikling frem til vore dage, eller undergik visse galakser nye intense stjernedannelsesperioder som følge af sammenstød med andre gasrige galakser?

For at kunne besvare disse spørgsmål kræver det, at vi kan måle de basale egenskaber, dvs. masser, bolometriske luminositeter¹, stjernedannelsesrater og gas-morfologier, af galakser ved $z > 6$, såvel som til senere tider, dvs. ved $z < 6$ og i princippet frem til vore dages galakser ved $z = 0$.

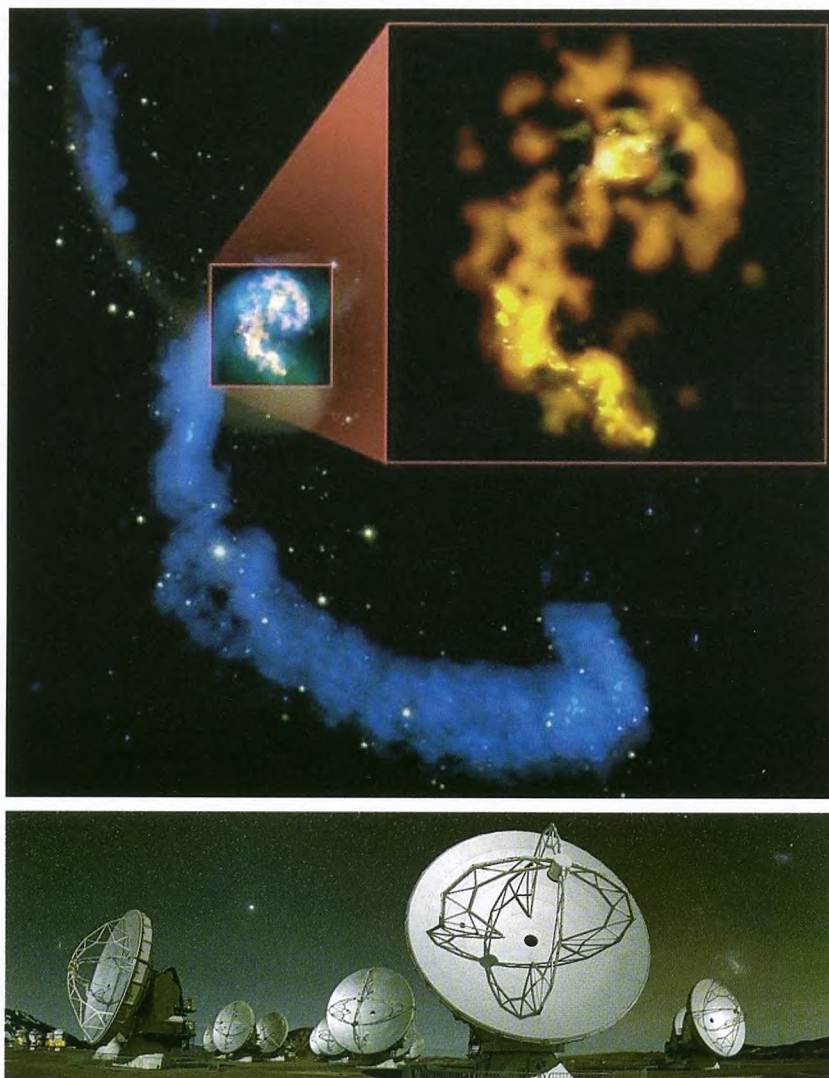
Støv og gas i galakser

Et centralt aspekt af udforskningen af galakser, er deres indhold af gas og støv, som under ét kaldes det interstellare medium. Det skyldes, at stjerner dannes ud af det interstellare medium – når områder af gassen bliver så tætte, at de bliver gravitationelt ustabile og kolliderer. Gassen i det interstellare medium er med andre ord 'brændstoffet' for stjernedannelse. Hvordan støv dannes er ikke forstået i detaljer, men vi ved dog at støvet primært består af tungere grundstoffer som kulstof og silicium, der kun kan dannes af stjerner. Selve dannelsen af støvet kan formentligt ske på flere måder. Det kan produceres i de chok, der opstår når metalrig gas fra en supernovarest støder ind i den omkringliggende gas. Det kan også kondensere ud af atmosfærerne af kolde, udviklede stjerner. I begge tilfælde er støvet en konsekvens af stjernedannelse.

Støvet absorberer UV-stråling udsendt fra de unge, varme stjerner i galaksen, og opvarmes dermed til en temperatur, som i ligevægt typisk vil være 20-50 K. Ved denne temperatur vil støvet genudsende den modtagne energi som strålingsvarme, der har maximal intensitet ved fjern-infrarøde bølglængder (100-150 μm).

Hvis en galakse har en meget høj stjernedannelsesrate, og vel og mærke kan vedligeholde denne rate i tilstrækkelig lang tid (over 100 mio. år), så kan den i løbet af relativt kort tid (~ 100 millioner år) producere så store mængder støv ($\sim 10^8$ - 10^9 solmasser) at den bliver 'indhyldet' i støvet. Støvet blokerer for det optiske/UV lys fra stjernerne, og som følge deraf er galaksen ekstremt svær at observere og studere i detalje med optiske teleskoper.

¹Bolometrisk luminositet angiver den totale energi, i alle bølglængder, der udsendes fra en lyskilde.



Figur 1. Øverst: En af de første videnskabelige testobservationer med ALMA af "Antennegalaksen", to lokale galakser merger der kolliderer og undergår kraftig stjernedannelse. De gule farver (indsat billede) viser ALMAs observationer, ved omkring 1 mm, af støvet og gassen i Antennegalaksen. Selvom disse data blev optaget med kun 12 ud af de 66 planlagte ALMA-antenner, giver de os et helt nyt og detaljeret billede af stjernedannelsen i denne galakse. Nederst: ALMA kommer til at bestå af 66 antenner med diameter mellem 7-12 m, og er beliggende i 5000 m i den chilenske Atacamaørken – et ideelt sted for astronomiske observationer. De næste 10 år vil ALMA være det ubetinget vigtigste astronomiske observatorium i udforskningen af Universet. Danmark er med helt fremme i udnyttelsen af ALMA når det gælder stjernedannelsesstudier i vores egen Mælkevej, men har pt. ingen ALMA eller fjern-IR/submm ekspertise inden for ekstragalaktisk forskning.

I modsætning til støvet som kan observeres direkte, kan langt størstedelen af gassen ikke detekteres direkte, idet molekylær brint ikke har rotationelle overgange pga. af dets symmetri (og dermed manglende elektriske dipolmoment). Ro-vibrationelle overgange af H_2 kan forekomme, men kun i ekstrem varm (10.000 K) gas eller gas som er undergået et chok – betingelser som kun findes sjældent i områder omkring stjerner i det interstellare medium. I stedet benytter man sig af observationer af 'spor-molekyler', såsom kulmonoxid (CO). CO er det næsthøypigste molekyle efter H_2 i Universet (men dog stadig knap 10.000 gange mindre høypigt forekommende end H_2), og det har rotationelle overgange der er nemme at excitere, selv for relativt kold (omkring 20 K) gas ved lav densitet (ca. 100 molekyler pr. cm^3). Ved at måle linjestyrken af de forskellige rotationelle CO-overgange, kan vi udlede

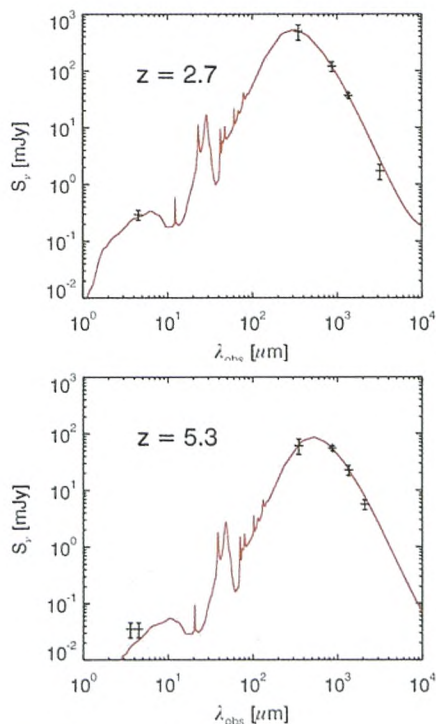
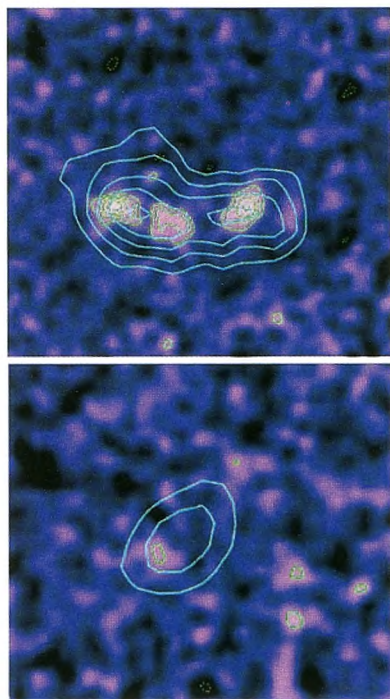
densiteten og den kinetiske temperatur af gassen, mens vi kan udlede de kinematiske forhold i galaksen og dens dynamiske egenskaber ud fra linjeprofilerne og den fysiske størrelse af området med CO-emissionen.

Vigtigheden af at kunne studere gas- og støvindholdet i fjerne galakser understreges af, at der i disse år investeres omkring 1 mia. euro til opbygning af verdens største astronomiske observatorium, "Atacama Large Millimeter Array" (ALMA), der er et fælles projekt mellem Europa, USA og Japan. ALMA er netop i år begyndt, at optage de første data (se figur 1) og teleskopet er specielt designet til at kunne observere den fjern-infrarøde stråling fra gas og støv i galakser. Selv om det er en noget slidt kliché at kalde ethvert nyt teleskop for 'revolutionerende', er det imidlertid langt fra tilfældet med ALMA. Det står klart, at langt

størstedelen af de betydningsfulde nye opdagelser, der vil blive gjort inden for galaksedannelse og udvikling, i de næste 10 år, vil blive gjort med ALMA.

Gravitationel linsning – naturens kosmiske teleskoper

Ved University College London (UCL) er vi med fremme i første række når det gælder udnyttelsen af ALMA og af det enorme potentiale som fjern-IR/millimeter



Figur 2. T.v.: Submillimeterobservationer af to SPT-galakser. Grønne konturer = 0,35 mm og blå konturer = 0,87 mm. Det øverste billede viser tydelig evidens for gravitationel linsning, idet galaksen har en tydelig aflang 'bue'-lignende struktur set ved 0,87 mm hvor vinkelopløsningen er forholdsvis grov (19"). Set ved 0,35 mm, hvor vinkelopløsningen er mere end dobbelt så god (8") splitter galaksen op i tre separate billeder – en klassisk konfiguration ved gravitationel linsning. T.h.: De spektrale energifordelinger af de to SPT-galakser, målt ved 2,0, 1,4, 0,87, og 0,35 mm (sorte punkter). Datapunkter ved 3,6 og 4,5 μm er også angivet. De røde kurver angiver modeller som er fittet til de observerede data. Disse tillader os at bestemme rødforskydningen af de to galakser til $z = 2,7$ og $z = 5,3$. For galaksen med $z = 2,7$ er rødforskydningen bekræftet spektroskopisk.

Denne nye klasse af galakser er usædvanligt klare i lys med en bølgelængde omkring 1 mm – mere end 10 gange klarere, men også ca. 100 gange sjældnere (der er under 0,1 galakse pr. kvadratgrad), end de galakser man i forvejen kendte fra tidligere gennemmønstringer ved lignende bølgelængder. Opdagelsen af disse ekstremt klare galakser var fuldstændig uventet, og vi har brugt de sidste 4 år siden deres opdagelse på, at karakterisere disse galakseres egenskaber, dvs. måle deres masse, luminositet osv., samt bestemme deres typiske afstand (rødforskydning) fra os. Derved vil det være muligt for os at forstå, hvordan disse galakser passer ind i vores overordnede forståelse af, hvordan galakser dannes og udvikle sig.

Som et led i dette har vi foretaget observationer i submm-området (bølgelængder på 0,35 og 0,87 mm) af over 60 SPT-galakser med Atacama Pathfinder Experiment (APEX) teleskopet i Chile. Sammen med SPT-målingerne ved 1,4, 2,0 og 3,0 mm kan vi modellere den fulde termiske støvemission og infrarøde/mm luminositet, den typiske temperatur af støvet, og den samlede

støvmasse fra hver af SPT-galakserne. Endelig har vi formået at bestemme SPT-galaksernes rødforskydning via deres CO-linjeemission, som det også er lykkedes os at detektere med APEX. Vi finder at SPT-galakserne i gennemsnit har højere rødforskydninger ($z \approx 2-5$ – se figur 2) end de mere typiske, ulinsede submm-galakser. Desuden er deres bolometriske luminositeter ($\sim 10^{14}$ solluminositeter), støvmasser ($\sim 10^{10}$ solmasser), og stjernedannelsesrater (~ 8.000 solmasser pr. år) mere end en størrelsesorden højere end de ulinsede submm-galakser. Dette tyder alt sammen på, at SPT-galakserne er ekstremt gravitationelt linsede eksemplarer af (ellers normale) submm-galakser. Den gravitationelle linseeffekt betyder, at lyset fra SPT-galakserne på dets vej til os bliver forstærket af en mellemliggende tung galakse, eller i visse tilfælde en hob af galakser, der krummer rumtiden og får den til at agere som et kosmisk 'mikroskop'. Mens man længe har kendt til linsede galakser, hvis fluks blev forstærket op til 2-8 gange, så er lyset fra SPT-galakserne formentligt forstærket

op til 10-50 gange. Ikke alene ville dette forklare den enorme tilsyneladende lysstyrke af SPT-galaksernes, men det ville også forklare deres i gennemsnit højere rødforskydning sammenlignet med normale submm-galakser.

I efteråret 2011 blev vi tildelt observationstid på ALMA for dermed at tage det næste store skridt i udforskningen af SPT-galakserne. Vi vil udnytte ALMAs fantastiske observationsegenskaber til, i stor detalje, at kortlægge (med en vinkelopløsning på under 1", svarende til en fysisk størrelse på mindre end ca. 1.000 parsec, hvor 1 parsec = 3,26 lysår) fordelingen af støv og molekyler (CO) gas i over 30 af disse spektakulære systemer. Det vil gøre os i stand til at bestemme præcis hvor meget og hvordan galaksernes lys er forstærket pga. gravitationel linsning, og vi vil altså kunne bestemme deres væsentligste egenskaber. Desuden vil vi i stor detalje kunne kortlægge emissionen fra en række molekyler og atomare linjer, og derigennem få et uhørt detaljeret billede af stjernedannelsen i disse tidlige galakser.

Et kig ind i fremtiden

Hvor Hubble Rumteleskopet i høj grad dominerede 1990'erne, så har vi de sidste 12 år været vidne til en IR/submm 'revolution', hvor observationer ved disse bølgelængder har stået for en stor del af de væsentligste nye opdagelser indenfor ekstragalaktisk astronomi. Med ALMA, som allerede har optaget de første data, står vi nu i en ny æra, hvor vi som nævnt vil se at fjern-IR/millimeter astronomi fuldstændig vil dominere

udforskningen af galakser og det tidlige univers. Det vil være situationen indtil ca. 2020, når den næste generation af optiske/IR mega-teleskoper som "European Extremely Large Telescope" (E-ELT), med et hovedspejl på knap 40 m, og "James Webb Space Telescope" (JWST), med et hovedspejl på 6,5 m, forventes at være klar. I mellemtiden vil detaljerede studier med ALMA af f.eks. gravitationelt linsede galakser som SPT galakserne i løbet af de næste par år bringe os syvmileskridt videre i forståelsen af hvordan de første galakser dannedes og udviklede sig.

Litteratur

- [1] Carlstrom et al. (2011) *PASP*, **123**, 568
- [2] Viera et al. (2010) *Ap. J.*, **719**, 764
- [3] www.almaobservatory.org
- [4] www.apex-telescope.org
- [5] pole.uchicago.edu



Thomas R. Greve forsker i galaksedannelse og udvikling ved at studere det interstellare medium og dets stjernedannelsesegenskaber i galakser i det meget fjerne univers. Han benytter millimeter- og radioteleskoper verden over, såsom Atacama Large Millimeter Array (ALMA), Extended Very Large Array (EVLA) og IRAM Plateau de Bure.

KVANT samlesæt sælges til favorable priser

KVANT tilbyder forskellige pakker med samlesæt af ældre årgange.

Pakke med 3 årgange: 200 kr.

Indeholder årgang 2008-2010 (de øverste tre rækker vist til højre, bortset fra nr. 1/09 og 2/10). Der er fem temanumre om:

- *Kosmologi og rumtid* • *Videnskab og kunst* • *Astronomi* (astronomiår 2009) • *Large Hadron Collider* • *Lavtemperaturfysik*.

Pakke med 5 årgange: 300 kr.

Indeholder årgang 2006-2010 (alle blade vist til højre, bortset fra nr. 1/06, 1/09 og 2/10). I årgang 2006-2007 er der temanumre om:

- *Kosmisk stråling* • *Neutronspreddning* • *Kvinder i forskningsfronten* • *Videnskab i renæssancen* • *Fysikundervisning*.

Årgang 1990-2010

Prisen for disse 'næsten komplette sæt' af alle ældre årgange af KVANT varierer fra 1200 kr. for de mest komplette sæt (der mangler en håndfuld numre) til 600 kr. for sæt, hvor godt 1/3 mangler. Kontakt kvant@kvant.dk for at få en opdateret prisliste.

Bestilling og betaling:

Pakkerne kan bestilles ved at sende en e-mail til kvant@kvant.dk, hvor du opgiver navn og adresse. Betaling sker via netbank eller girokort. Oven i priserne skal lægges udgifter til forsendelse.



Venuspassagen den 6. juni

Af Michael Quaade, formand for Astronomisk Selskab

Et sjældent naturfænomen

I disse måneder ses planeten Venus klart lysede højt på sydvesthimlen allerede inden det bliver helt mørkt. Den nærmer sig det punkt i sin bane, hvor den passerer mellem Jorden og Solen. Onsdag den 6. juni passerer Venus ind foran Solen, så den kan ses i silhouet som en lille sort cirkel, der i løbet af nogle få timer bevæger sig forbi solskiven.

Passagen starter lige omkring midnat efter dansk sommertid og varer til lidt i syv om morgenen. Det er naturligvis kun forløbet efter solopgang, vi kan se fra Danmark. Den dag står Solen op omkring 4:30, lidt afhængigt af, hvor i landet man befinder sig. Set fra dele af stillehavsregionen og de nordlige polaregne finder hele passagen sted mens Solen er på himlen. I Nordamerika kan man se de første faser i tiden hen mod solnedgang dagen før, den 5. juni.

Set fra Danmark skal man have udsyn så langt ned mod horisonten som muligt mod nordøst omkring kompasretningen 45 grader hvor Solen står op. Når passagen er overstået ved syvtiden er Solen ikke engang 17 grader over horisonten.

Det vil nok være nødvendigt med en kikkert for at kunne se den lille Venus foran Solen. Et par solformørkelsesbriller er ikke tilstrækkeligt med mindre man har usædvanligt skarpe øjne, men selv en lille håndkikkert med solfiltre vil kunne vise Venus som en ganske lille prik på solskiven. Der vil givetvis stå flokke af amatører med deres udstyr på mange østvendte strande, hvor de vil vise fænomenet frem for publikum. Vi vil prøve at ajourføre en liste over steder, hvor man kan komme til at se passagen på Astronomisk Selskabs webside, astronomisk.dk [1].

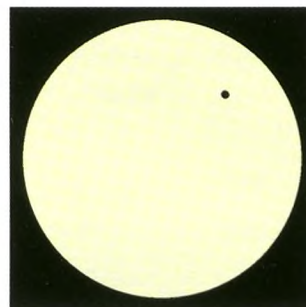
Man skal som altid beskytte øjnene når man ser på Solen i en kikkert. Enhver kikkert til solobservation er forsynet med et filter foran objektivet. Tidligere kunne man af og til se små solfiltre anbragt i okularet, men de er heldigvis gået ud af brug. De var farlige, fordi Solens kraftige lys var fokuseret på et lille område, der blev varmet voldsomt op og kunne gå i stykker så sollyset faldt lige ind i øjet med varige skader til følge.

En venuspassage er et sjældent fænomen. Sidste gang det skete var den 8. juni 2004, men næste gang bliver først den 11. december 2117. Derefter bliver det otte år senere, den 8. december 2125. I disse tider – dvs. de nærmeste århundreder før og efter i dag – forekommer venuspassager i par med otte års mellemrum, mens der derefter er over 100 år til næste par.

Den grundlæggende årsag til venuspassagernes sjældenhed er, at Jorden og Venus' baner ikke ligger i helt samme plan. Der er en lille vinkel på godt tre grader mellem baneplanerne. Det betyder, at når Venus er i det punkt i sin bane, hvor den er tættest på at stå lige mellem Solen og Jorden, vil den næsten altid passere en smule over eller under synslinien fra Jorden til Solen og derfor

ikke komme ind foran solskiven. En venuspassage kan kun finde sted, når Jorden og Venus samtidigt passerer knudelinien – skæringslinien mellem de to planeters baneplan som går gennem Solen.

De otte år, der er mellem de to passager i et par skyldes at Venus på 8 år – otte jordomløb – netop foretager næsten præcis 13 omløb i sin bane. Den lille forskel, der er, bevirker at Venus yderligere otte år senere ikke passerer knudelinien samtidigt med Jorden. Men på 105 år og 6 måneder når summen af de mange små forskelle lige at passe med at Venus og Jorden igen passerer knudelinien samtidigt. Denne gang er det bare omme på den modsatte side af Solen, så til den tid – i 2117 – sker passagen et halvt år senere, i december i stedet for i juni. Det samme gælder for den følgende passage otte år senere i december 2125.



Figur 1. Grafik, der viser Solen med Venus foran som en rund skygge, som det vil tage sig ud den 6. juni.

På astronomisk.dk [1] kan man se en animation af planetens bevægelse hen foran solskiven. Den viser hele forløbet fra lige før passagen starter ved midnat til den er overstået ved syvtiden. Billedet i figur 1 er taget fra animationen og viser Venus foran Solen lige efter solopgang kl. 4:30. Animationen er lavet med XEphem og GIMP programmerne. De, der så passagen i 2004 husker måske, at Venus dengang passerede forbi den nederste del af solskiven. Denne gang sker passagen nær den øverste kant af solskiven. Forskellen er en følge af, at 13 baneomløb af Venus ikke varer præcis det samme som 8 omløb af Jorden. Denne forskel betyder også at passagen i år finder sted tidligt om morgenen den 6. juni mens den sidst forløb midt på dagen den 8. juni 2004.

Vi må håbe at vejret også i år viser sig fra sin gode side ligesom for otte år siden.

Litteratur

- [1] Astronomisk Selskab: <http://astronomisk.dk>
- [2] NASAs side om passagen: <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/transit/venus0412.html>
- [3] Informationsside om historie, observationer og arrangementer ifb. Venus transitter: <http://www.transitofvenus.org>.

Jordens mærkelige følgesvende

– opdagelsen af Jordens første trojanske asteroide

Af Tobias Cornelius Hinse, Korea Astronomy and Space Science Institute og René Michelsen

Blandt Solsystemets utallige asteroider, findes der nogle, der er løst bundne til planeterne via Lagrange-punkterne. For nylig blev det opdaget, at også Jorden har sin egen følgesvend. I denne artikel gives baggrunden til forståelsen af den komplicerede dynamik, og forskellige virkelige eksempler på nogle af Jordens mærkelige følgesvende.

Indledning

Blandt resterne fra dannelsen af Solsystemet finder vi asteroider og kometer. Disse objekter er dynamisk meget aktive, da de er præsget gravitationelle vekselvirkninger med Solsystemets planeter. De fleste asteroider befinder sig i Asteroidebæltet mellem Mars og Jupiter, men de jordnære asteroider kan have baner, der krydser gennem det indre Solsystem. Det resulterer undertiden i spektakulære hændelser, som f.eks. den nære passage mellem Jorden og asteroiden 2005 YU₅₅ i november 2011. Andre asteroider afslører imidlertid en langt mere underfundig dynamisk natur end blot en simpel tæt passage: I 2011 viste to studier, at to asteroider er følgesvende til Jorden og udviser nogle højst komplekse dynamiske forhold.

Et gammelt problem

Et af fysikkens mest studerede systemer er tre-legeme problemet og dets anvendelser i forskellige formuleringer indenfor astronomien. På engelsk findes ordsproget *“two is company, three is a crowd”*, som meget passende beskriver tre-legeme problemet. Mens to-legeme problemet kan løses analytisk ud fra Newtons gravitationslov, og elegant beskrives ved Keplers tre love, så findes der ingen tilsvarende løsning for tre-legeme problemet. Med andre ord, for det generelle tilfælde, så er det ikke muligt at give en analytisk beskrivelse af systemets tilstand til en vilkårlig tid i for- eller fremtiden. Problemet består derfor i, på anden vis at finde en beskrivelse for tidsudviklingen af tre massepunkter, som påvirker hinanden via gravitationskraften.

Et specielt tilfælde af tre-legeme problemet giver anledning til to slags mulige ko-orbitale baner: 1) “hestesko”- og 2) “haletudse”-baner. Anledningen til den sære navngivning kræver en nærmere analyse, som gives i det følgende. Et velkendt eksempel på objekter i haletudsebaner er de såkaldte trojanske asteroider, som danner en selvstændig population ved planeterne Mars, Jupiter og Neptun omkring de såkaldte Lagrangepunkter L4 og L5 (se senere). Disse asteroider har ko-orbitale baner (dvs. de ligger i samme bane som planeten) og kan manifestere særheder i deres geometriske tidsudvikling afhængig af deres dynamiske tilstand. Et eksempel på hesteskobaner er Saturns satellitter Janus og Epimetheus. Selve betegnelsen “trojansk asteroide” stammer fra en tradition med at opkalde asteroider i

Jupiters L4 og L5 efter personer fra den trojanske krig i Homers Iliade. Sprogbrugen er generaliseret til at betegne asteroider i et vilkårligt L4/L5 punkt.

En banebrydende opdagelse

Først fornylig, ved brug af et rumbaseret teleskop, blev den første jordiske trojanske haletudse-følgesvend med betegnelsen 2010 TK₇ opdaget [1]. At en sådan opdagelse ikke er gjort tidligere, skyldes den vanskelige geometri af jordiske trojanere, da de befinder sig tæt på retningen mod Solen (set fra Jorden). Dette forhold vanskeliggør jordbaserede observationer af disse lyssvage og relativt små objekter.

Den banebrydende opdagelse af asteroiden 2010 TK₇ giver anledning til spekulation om størrelsen af populationen af jordnære haletudse(trojaner)/hestesko asteroider, deres dynamik, bane-stabilitet og levetid.

Tre-legeme problemet og dets anvendelser

Der findes flere varianter af tre-legeme problemet, som adskiller sig fra hinanden igennem forskellige antagelser omkring masserne og begyndelsesbetingelserne. Specielt interessant er det restringerede tre-legeme problem med to store masser (f.eks. Solen, Jorden) og et masseløst tredje legeme (f.eks. en asteroide). Dette problem beskriver bevægelsen af en masseløs testpartikel i forhold til gravitationsfeltet fra det traditionelle Keplerproblem. Tilfældigvis er dette system genkendeligt fra mange forskellige situationer i vores Solsystem. Der er udviklet analyseværktøjer, som kan beskrive om dynamikken er kaotisk (ustabil) eller stabil, uden at der nødvendigvis skal opstilles en analytisk løsning. Specielt kan de dynamiske forhold for små legemer som asteroider og satellitter omkring planeterne beskrives passende nøjagtigt, ved kun at betragte den gravitationelle indflydelse af Solen og Jupiter. Et meget velkendt eksempel er eksitation af baneexcentriciteten af asteroider omkring Solen forårsaget af Jupiters påvirkning over forholdsvis korte tidsrum. De langstrakte baner giver anledning til at krydse de indre planets baner, og dermed forøges sandsynligheden for sammenstød. Den samlede effekt er en slags støvsugning af asteroider, som er ansvarlig for udformning af de såkaldte “Kirkwood-gab” indenfor Asteroidebæltet. Disse huller er sammenfaldende med placeringen af såkaldte ba-

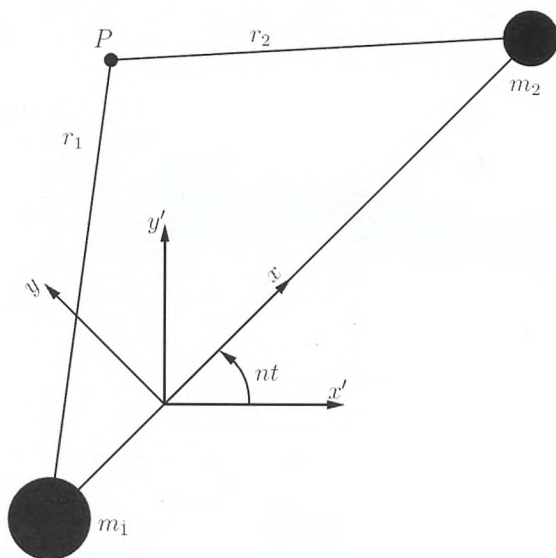
neresonanser, som er beskrevet ved forholdet mellem middelbevægelsen af en asteroide og Jupiter. I andre tilfælde er det dog nødvendigt at medtage påvirkninger fra andre planeter for at give en passende nøjagtig beskrivelse af dynamikken. Her vil vi se på et særligt tilfælde af det restringerede tre-legeme problem.

Den mest almindelige forståelse af Solsystemet bygger på Keplers billede, hvor planeter og asteroider kredser omkring Solen på elliptiske baner, og det er lige ud ad landevejen at udlede systemets bevægelsesligninger. Det er nogle gange en fordel at betragte bevægelsen i et roterende, såkaldt synodisk, system. Her roterer koordinatsystemet med samme vinkelfrekvens som planetens omløbsfrekvens, hvilket resulterer i, at planeten tilsyneladende står stille i forhold til Solen. Det synodiske system er således ikke et inertialsystem, men et accelereret system. I det følgende vil vi kort gennemgå de vigtigste egenskaber, der ligger til grund for det restringerede tre-legeme problem formuleret i et synodisk koordinatsystem.

Synodiske bevægelsesligninger

Sætter man sig ved skrivebordet ved den grønne lampe og skriver de synodiske bevægelsesligninger for den masseløse testpartikel ned, så finder man frem til følgende sæt af ikke-lineære koblede differentiaalligninger:

$$\begin{aligned}\ddot{x} - 2n\dot{y} &= -\frac{\partial U}{\partial x} \\ \ddot{y} + 2n\dot{x} &= -\frac{\partial U}{\partial y}\end{aligned}$$



Figur 1. Illustration af tre-legeme problemet i (x, y) -planet, som roterer med vinkelfrekvensen nt . Testpartiklen er angivet med P og bevæger sig i tyngdefeltet af m_1 og m_2 . I figuren er $\mu_1 = m_1/(m_1 + m_2)$ og $\mu_2 = 1 - \mu_1$.

I et simplificeret tilfælde, og med henvisning til figur 1, betragtes problemet hvor alle tre legemer bevæger sig i samme (x, y) -plan (og hvor de to store legemer

bevæger sig i cirkelbaner om det fælles tyngdepunkt). Vinkelfrekvensen hvormed koordinatsystemet roterer, er angivet ved n , som er lig med planetens (Jordens) middelbevægelse ($[n] = ^\circ/\text{dag}$). Det synodiske koordinatsystem er ikke et inertialsystem og i udledningen fremkommer der led, som beskriver Coriolis- og centrifugalkræfter på testpartiklen (P). Funktionen U er en skalar. I litteraturen kaldes U -funktionen et pseudo-potentiale, og er en funktion af testpartiklens position i (x, y) -planet, den frekvens hvormed systemet roterer og masserne af de to stationære legemer. Gradienten af U giver kun *nogle* af kræfterne, der virker på partiklen P . Dermed beskriver U ikke alle kræfter der findes i systemet. Har man en computer i nærheden, så er det ikke svært at implementere ovenstående ligningssæt, for at finde en numerisk løsning af testpartiklens position i (x, y) -planet for forskellige begyndelsesbetingelser.

Jacobikonstanten – en bevaret størrelse

En vigtig pointe i det synodiske restringerede tre-legeme problem er, at hverken systemets energi eller det samlede baneimpulsmoment er bevarede størrelser. Det kan virke underligt i første omgang, men fordelene ved det roterende system er at opnå en kvalitativ-kinematisk beskrivelse, der bekvemt beskriver partiklens bevægelse, uden først at forlange en analytisk løsning.

Der findes således en anden bevaret størrelse, ved navn Jacobikonstanten C_J , som viser sig at være den eneste bevarede størrelse i systemet. Den numeriske værdi af C_J afhænger både af begyndelsesbetingelserne og massen af de to masserige legemer (Jorden og Solen i vores tilfælde). Der findes følgende sammenhæng mellem Jacobikonstanten og størrelsen af pseudo-potentialet U :

$$C_J = 2U - v^2$$

hvor v måler testpartiklens øjeblikkelige fart. Størrelsen $2U - v^2$ er konstant, uanset hvor i (x, y) -planet testpartiklen opholder sig.

Selvom der ikke findes et analytisk udtryk for testpartiklens tidsudvikling, så findes der dog begrænsninger for partiklens bevægelsesfrihed. Den rummelige indskrænkning afgøres af Jacobikonstanten: Netop fordi kvadratet på hastigheden altid er nul eller positiv, så har vi $2U \geq C_J$, hvilket er betingelsen, der opdeler eller afgrænser to specielle områder. I det ene område er det tilladt for testpartiklen at bevæge sig frit omkring, mens det er fysisk umuligt at bevæge sig i det andet område.

Områderne afgrænses af det tilfælde hvor testpartiklen ligger stille i det synodiske system (dog følger testpartiklen stadig en keplerbane i det sideriske system), dvs. $v = 0$. I dette tilfælde er udtrykket for Jacobikonstanten givet ved:

$$C_J = 2U = n^2(x^2 + y^2) + 2\left(\frac{\mu_1}{r_1} + \frac{\mu_2}{r_2}\right)$$

Her er r_1 og r_2 testpartiklens afstand til de andre to legemer med (reducerede) masser μ_1 og μ_2 (se evt. figur 1).

For en bestemt værdi af Jacobikonstanten definerer ovenstående ligning en familie af konturkurver i (x, y) -planet, kaldet nulhastighedskurver. En nulhastighedskurve kan ikke krydses, fordi testpartiklens fart altid er nul eller større. Netop for $v = 0$ er C_J udelukken-

de udtrykt ved potentialet U . Nulhastighedskurverne beskriver derfor samtidig en *ækvipotentialekurve*, hvor partiklen frit kan bevæge sig rundt.

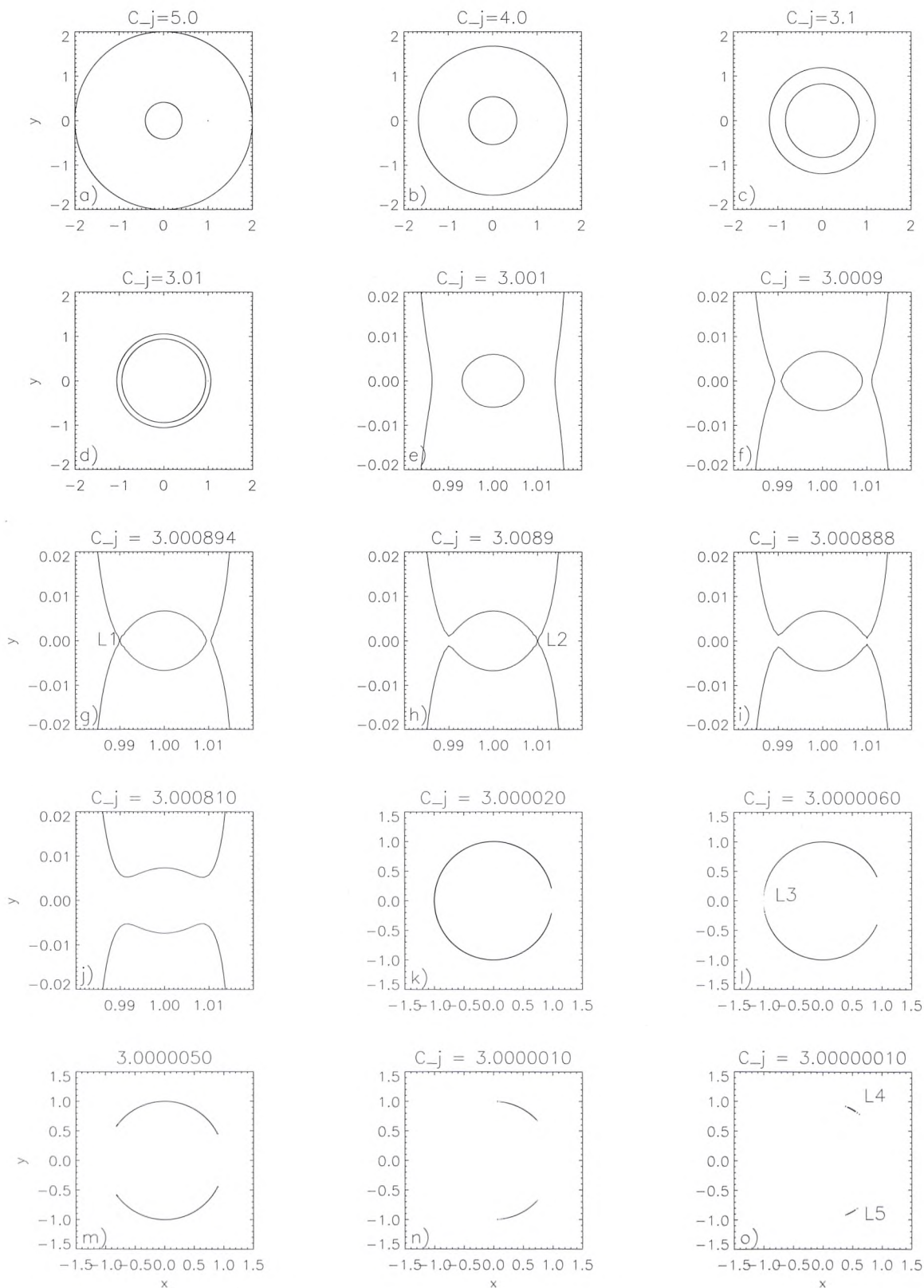


Figure 2. Nulhastighedskonturkurver for en testpartikel (P) for forskellige værdier af Jacobikonstanten C_J .

I figur 2 har vi tegnet disse nulhastighedskurver af en testpartikel i Jord-Sol systemet for forskellige værdier af Jacobikonstanten (vi ser på det simplificerede tilfælde hvor Månen som fjerde legeme ignoreres, og der anvendes normaliserede enheder). For alle C_J værdier er Solen placeret i (0,0) og Jorden er beliggende til højre for Solen, lige til venstre for (1,0).

Startende med $C_J = 5.0$ i figur 2a, ses en ringformet konturkurve omkring Solen, og en lille prik ved Jorden, som faktisk også er en ring (som vi kommer til at overbevise os om i det følgende). Derudover ses også en større konturkurve, som omslutter begge masser. Arealet mellem denne ydre kurve og kurven omkring Solen/Jorden er forbudt område for en heliocentrisk/geocentrisk testpartikel at bevæge sig i. En testpartikel, som, til at begynde med, startes i enten en bane omkring Solen eller Jorden, vil for altid forblive i en hhv. helio- eller geocentrisk omløbsbane. Et skiftende besøg mellem masserne er dermed ikke muligt i dette tilfælde. Dette forhold giver anledning til definitionen af Hills banestabilitet. Konturkurven omkring Solen kaldes for Solens Hill-sfære, og en given testpartikel forbliver på en stabil bane indenfor dette område i al evighed.

Vælges mindre værdier af C_J , som vist i figur 2a til figur 2d, så forøges radius af Solens Hill-sfære. Samtidig skrumper den ydre konturkurve; det er stadigvæk ikke muligt for testpartiklen at skifte mellem en heliocentrisk og en geocentrisk bane. I figur 2e ses en forstørrelse af området omkring Jorden, og det er nu muligt at få øje på Jordens Hill-sfære, som minder om en rugbybold i (x,y) -planet. Formindskes Jacobikonstanten en smule yderligere, bevirkes (figur 2f og figur 2g) at konturkurverne, som definerer massernes Hill-sfærer, nu forbindes i et punkt kaldet Lagrangepunktet L1. Tilsvarende er punktet L2 vist i figur 2h et resultat af en sammensmeltning mellem Jordens Hill-sfære og den ydre nulhastighedskurve. I figur 2h ses også, at området omkring L1-punktet nu åbner op og dermed giver muligheden for, at testpartiklen kan skifte mellem en heliocentrisk og geocentrisk bane. Det er dog ikke nemt at smutte igennem L1-punktet, da det er et lille nåleøjeblik for relativt høje værdier af Jacobikonstanten. Sammenslutning af den ydre konturkurve med Jordens Hill-sfære i Lagrangepunktet L2 bryder ligeledes op i takt med mindre værdier af Jacobikonstanten (figur 2i og figur 2j).

Afhængig af begyndelsesbetingelserne er det muligt for testpartiklen, ved at benytte gabet i kurven (figur 2j), at skifte mellem baner omkring Solen eller Jorden. Desuden kan den undslippe Jord-Sol systemet igennem L2-punktet. I figur 2k zoomes ud igen og det ses, at det forbudte område afgrænset af nulhastighedskurven ligner en hestesko. En partikel med $v = 0$ og med den givne værdi af C_J vil kunne bevæge sig rundt på kurven i en hesteskobane i en bane ko-orbital med Jorden.

Formindskes Jacobikonstanten yderligere, så vil hesteko-banen bryde op i L3-punktet (figur 2l, det venstre gab). Fortsætter man med mindskning af C_J afsløres slutteligt Lagrangepunkterne L4 og L5 (figur 2m, 2n

og 2o). Kurverne minder om formen af haletudser, og det er nu muligt for testpartiklen, at udføre haletudseformet bevægelse, dvs. librationer, omkring L4 eller L5. Amplituden af denne libration bliver mindre for mindre værdier af testpartiklens Jacobikonstant. Som det ses af figur 2o, danner placeringen af L4 og L5 hver især en ligesidet trekant med Solen og Jorden. Set fra Solen ligger de ved $\pm 60^\circ$ fra Jorden. For at detektere haletudseobjekter tæt ved L4/L5 skal man observere lige før/efter sol opgang/nedgang [2].

Stabiliteten af Lagrangepunkterne

For en given værdi af C_J kan U og v variere frit, så længe C_J er konstant, og kun i de områder hvor v^2 er nul eller større end $2U$. Da udtrykket for U ovenfor afhænger af både x , y , r_1 og r_2 , har pseudopotentialet stor variation over (x,y) -planet. Dette fremgår af nulhastighedskurverne, som jo er et udtryk for ækvi-potentialkurver. Lader vi v vokse fra nul for en given værdi af potentialet U , svarer det til at gå fra figur 2a til figur 2o. Arealet af de forbudte områder bliver mindre, bevægelsen for P mere fri over et større rumareal. Lagrangepunkterne er lokaliseret de steder, hvor topologien af nulhastighedskurverne ændres.

De fem punkter (L1 til L5) har vidt forskellige dynamiske egenskaber, ligesom dynamikken er afhængig af masserne; der er f.eks. stor forskel på dynamikken af baner omkring L4/L5-punkterne for hhv. Jord-Sol og Jord-Måne konfigurationerne.

Dynamisk betragtet definerer Lagrange-punkterne i det cirkulære restringerede tre-legeme problem områder, hvor gravitationskræfterne på en testpartikel nøjagtigt svarer til centripetalkraften, der får partiklen til at ko-rotere med de masserige legemer. Med andre ord er summen af gravitationskraften og centrifugalkraften nul i Lagrange-punkterne. Betragtes problemet i det synodiske system, er testpartiklens hastighed i disse punkter nul, og de kaldes for fix- eller ligevægtspunkter.

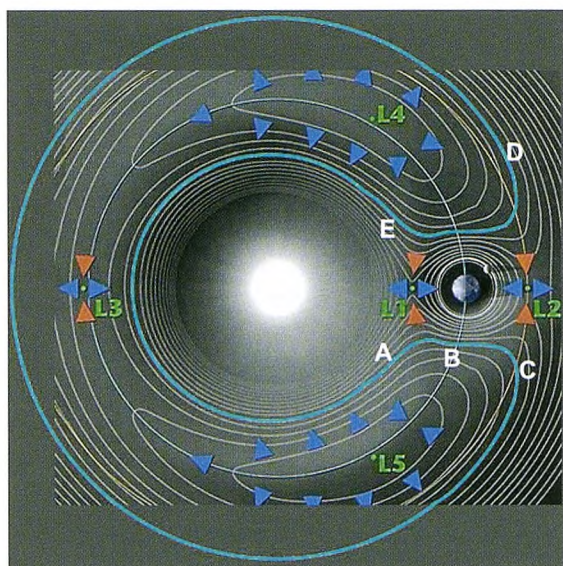
Man kan måske fornemme, at stabiliteten af punkterne er afhængig af en nøje balance i begyndelsesbetingelserne. Stabiliteten af punkterne kan undersøges ved at *linearisere* bevægelsesligningerne og udlede stabilitetskriterier. Ligevægtspunkterne L1, L2 og L3 ligger på den linie, som forbinder masserne μ_1 og μ_2 . Det viser sig, at disse punkter er ustabile i den forstand, at en testpartikel (for eksempel en satellit) med tiden vil bevæge sig med en større afstand fra et sådant punkt. De dynamiske forhold omkring L4- og L5-punkterne er anderledes, og disse punkter er stabile for visse μ_1/μ_2 forhold. Netop for alle kendte Sol-planet og planet-måne par i Solsystemet er stabilitetskravene overholdt.

Man skulle dermed formode, at alle planeter har en sværm af følgesvende tæt omkring L4 og L5, f.eks. netop som det er tilfældet med Jupiter-trojanerne. Sådan er det imidlertid ikke: I ovenstående diskussion betragtede vi en forsimplet beskrivelse med udgangspunkt i det cirkulære restringerede tre-legeme problem. For det faktiske Sol-Jord-asteroide problem har Jorden en svagt elliptisk bane, og systemets bevægelse foregår ikke

nødvendigvis i planen. Samtidig vil en asteroide opleve gravitationelle perturbationer fra Månen og de øvrige planeter, og altså ikke bevæge sig som i et isoleret tre-legeme problem. Desuden vil dynamikken generelt være følsomt afhængig af begyndelsesbetingelserne, hvilket netop er definitionen på *kaos*. I det følgende vil vi præsentere eksempler på både stabile og kaotiske baner.

Hestesko- og haletudse-baner i Jord-Sol-systemet

Den foregående beskrivelse af det restringerede tre-legeme problem danner grundlag for forståelsen af hestesko- og haletudsebaner. Den første kendte asteroide (3753) Cruithne, som viste sig at besidde en højst usædvanlig banekarakteristik blev opdaget af Paul Wiegert (og medvirkende) tilbage i 1997 [3]. Asteroiden (3753) Cruithne bevæger sig ift. Jorden i en velsynkroniseret bane.



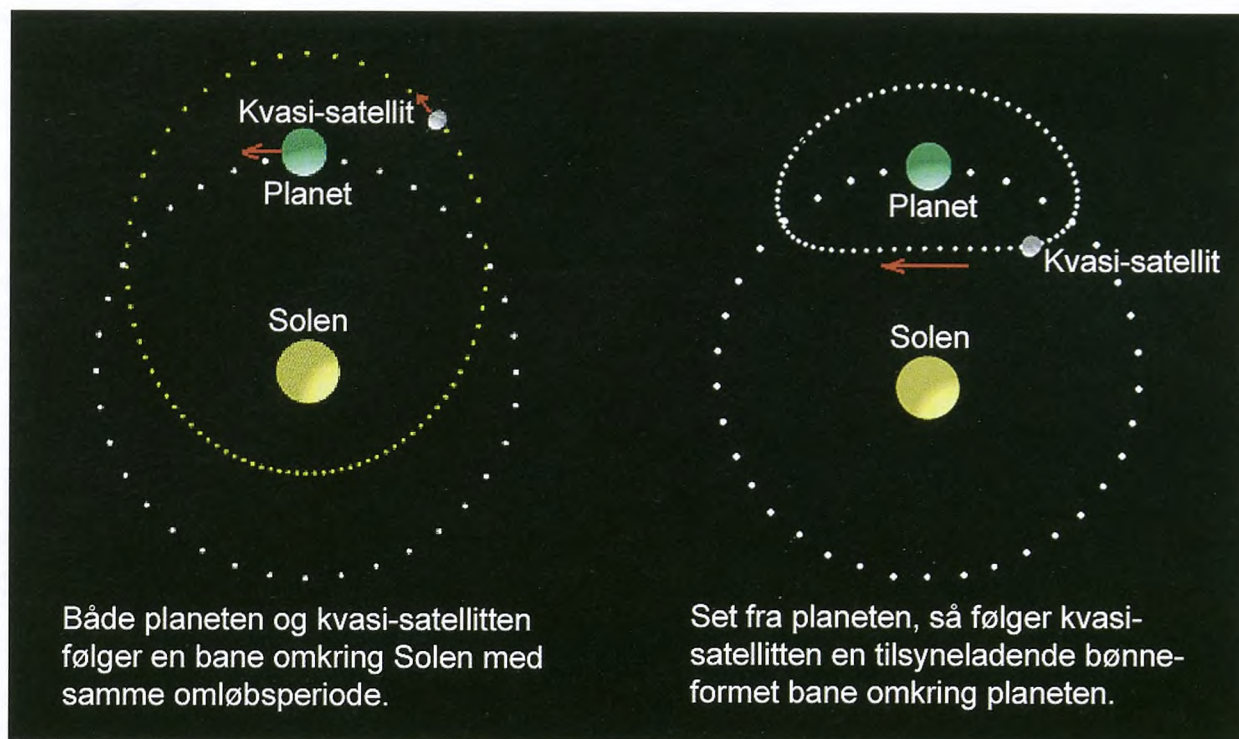
Figur 3. Illustration af hesteskobaner i det restringerede tre-legeme problem. Farvede pile viser retningen af gradienten i potentialfeltet omkring Lagrangepunkterne L1 til L5. Jordens bane er kendetegnet med en cirkel og konturkurver repræsenterer nulhastighedskurver. Billedet blev hentet fra NASA. Credit: NASA/WMAP Science Team.

I et system, som roterer med Jorden, følger Cruithne en kompliceret hesteskobane. Denne bane fremkommer ved en skiftende vekselvirkning mellem Jorden, Cruithne og Solen. I figur 3 vises en sådan hesteskobane ift. nulhastighedskurverne. Startende i punkt A, er asteroiden på en mindre bane end Jorden, og har følgelig en kortere omløbsperiode omkring Solen. Asteroiden er dermed en smule hurtigere end Jorden. I stedet for at overhale Jorden indenom, så bliver Cruithne tiltrukket af Jorden og accelereret (B) og dermed "løftet" op i en større bane (C) med en længere omløbsperiode sammenlignet med Jorden. Cruithne er nu langsommere end Jorden og falder lidt efter lidt bagud (baneafsnit mellem C og D), indtil Cruithne igen møder Jorden i punkt D. Her bliver asteroiden igen tiltrukket af Jordens tyngdefelt, som bevirker at Cruithne accelereres ned i

en bane med kortere omløbsperiode end Jorden. Det er nu Jorden, der lidt efter lidt halter bagefter, indtil hesteskobringen sluttet igen i punkt A. Det er vanskeligt at gengive denne bevægelse i et inertielt system, og det er vigtigt at huske, at asteroidebanen i et ikke-roterende heliocentrisk system følger en klassisk Keplerbane omkring Solen.

Sidenhen har astronomer opdaget andre jordnære asteroider, som også følger en hesteskobane som Cruithne. Det nyeste skud på stammen er asteroiden 2010 SO₁₆, som blev opdaget i september 2010 med NASA's WISE (Wide-field Infrared Survey Explorer) 40 cm infrarøde satellit, sendt i kredsløb omkring Jorden i 2009. Asteroiden 2010 SO₁₆ blev efterfølgende observeret med forskellige teleskoper og dens bane undersøgt i detaljer af astronomer ved det nordirske Armagh Observatory [5]. Opdagelsen blev mulig, fordi 2010 SO₁₆ netop nu befinder sig i position "B" i figur 3. Om ca. 88 år befinder den 200 til 400 meter store asteroide sig bagved Solen (set fra Jorden), og vil dermed være godt gemt væk i et stykke tid før og efter. På grund af vekselvirkningen med Jorden svinger dens halve storakse mellem 0.996 AU (indre bane) og 1.004 AU (ydre bane). Mens baneperioden er på omkring 1 år, så tager en hesteskoperiode omkring 350 år i det roterende system. Dermed kommer 2010 SO₁₆ tæt på Jorden omkring hvert 175. år. Dog bliver afstanden aldrig mindre end cirka 20 millioner kilometer, som svarer til omkring 50 gange Jord-Måne afstanden. I [5] kaldes denne situation for "terrafob" pga. asteroidens tilsyneladende sky opførsel overfor Jorden.

En anden egenskab, der er bemærkelsesværdig for 2010 SO₁₆, er dens banestabilitet. Som enhver anden observation, så er banebestemmelsen påhæftet usikkerheder, som kan minimeres ved opsamling af et større antal observationer. Ved numerisk at følge flere forskellige kloner af 2010 SO₁₆, hver med startbetingelser indenfor baneparametrenes usikkerhedsområde, så viser det sig at banen, som asteroiden følger, er usædvanligt stabil eller langtlivende. Undersøgelsen viser, ved brug af numerisk-statistiske metoder, at den vil forblive i sin nuværende hesteskobane i mindst 120.000 år. Dette er forholdsvis lang tid, når denne levetid sammenlignes med de andre hestekoasteroider, som kun følger deres nuværende baner i nogle få tusinde år. Ifølge [5], så kan banestabiliteten tilskrives 1) banens lille excentricitet og 2) værdien af Jacobikonstanten. Førstnævnte egenskab forhindrer asteroiden i at krydse sin bane med andre terrestriske planeter (Mars eller Venus), og forbliver derfor tæt på Jordens bane. Endvidere er Jacobikonstanten for 2010 SO₁₆ finjusteret således, at asteroiden befinder sig i en "dynamisk" tilstand, som forhindrer en overgang til andre banetyper. Havde værdien af asteroidens Jacobikonstant været en anden, så ville det have været lettere at skifte mellem hestesko- og/eller haletudse-librationer. En anden mulighed ville være et "escape"-scenario, hvor 2010 SO₁₆ undslipper den nuværende dynamik, og bliver slynget ud på en kvalitativt markant anderledes bane.



Figur 4. Grafisk illustration af banegeometrien for en jordisk kvasi-satellit (engelsk: quasi-satellite). Venstre panel viser kvasi-satellitten på en excentriske bane omkring Solen. Dog er den stadigvæk i en 1:1 bane-resonans med planeten. Satellittens perihelionafstand ligger indenfor og dens aphelionafstand udenfor planetens bane. Højre panel: Kvasi-satellittens tilsyneladende bønneformet bane omkring planeten (f.eks. Jorden) for en observatør beliggende på planeten. Figur (oversat) fra: Paul Wiegert (University of Western Ontario).

Kvasi-satellitter

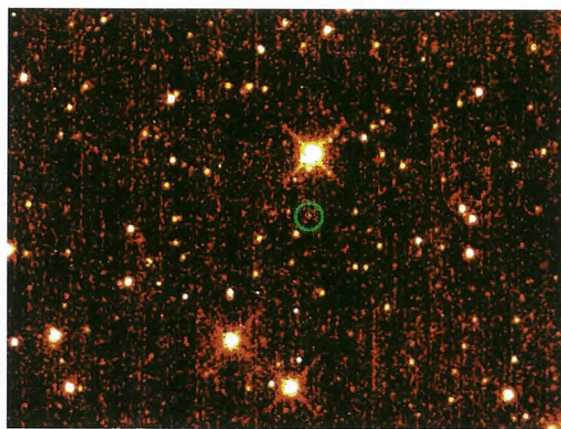
En anden klasse af legemer i en 1:1 bane-resonans med en planet er såkaldte *kvasi-satellitter*. Disse objekter bevæger sig i en bane omkring Solen med den halve storakse svarende til planetens baneradius (som regel ret cirkulær for planeter i Solsystemet). Denne egenskab sikrer, at de to objekter er i resonans med hinanden og dermed har samme velsynkroniserede bane-omløbsperiode. Forskellen i deres baneegenskaber er en højere excentricitet for kvasi-satellittens bane. Eksistensen af kvasi-satellitter kendes for de ydre gasplaneter i Solsystemet og den første jordiske kvasi-satellit blev annonceret i 2004 med betegnelsen 2003 YN₁₀₇ [7]. I et heliocentrisk system følger kvasi-satellitten og Jorden hver sin bane omkring Solen.

Figur 4 illustrerer banegeometrien grafisk. Placeres observatøren på Jorden (stadigvæk i et ikke-roterende, heliocentrisk system), så kan det tilsyneladende se ud som om kvasi-satellitten følger en bane omkring Jorden netop på grund af 1:1 bane-resonansen. Dette forhold giver anledning til betegnelsen kvasi-satellit og i dette tilfælde ligner kvasi-satellittens bane en bønne befindende sig i en (tilsyneladende) bane omkring Jorden. Denne bønneform af dens bane skal dog ikke forveksles med en haletudse- eller hesteskobane som før nævnt. Det skal hermed understreges, at en kvasi-satellit ikke udfører haletudse- eller hesteskobaner og læseren henvises til følgende webside: <http://www.astro.uwo.ca/~wiegert/quasi/quasi.html>, som byder på en glimrende animation af banegeometri-

en for en kvasi-satellit.

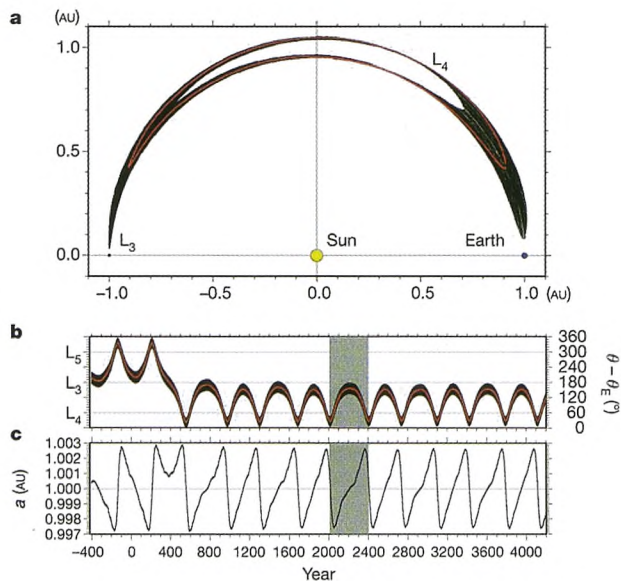
Opdagelsen af Jordens første trojaner – 2010 TK₇

En mere opsigtsvækkende opdagelse blev gjort af NEOWISE-teamet (Near Earth Object WISE, se [4]) i oktober 2010. NEOWISE er en fortsættelse af WISE missionen, efter satellitten var løbet tør for kølevæske, som er nødvendig til at nedkøle det følsomme infrarøde måleudstyr. NEOWISE brugte to af de fire infrarøde CCD kameraer til at lede efter jordnære asteroider og kometer. Ved at kigge igennem NEOWISE data (se figur 5) opdagede gruppen omkring NEOWISE missionen Jordens første trojaner med betegnelsen 2010 TK₇ (Connors et al. 2011).



Figur 5. Opdagelse af "haletudse"-satellitten 2010 TK₇ med NEOWISE satellitten. Billedet blev hentet fra NASA. Credit: NASA/NEOWISE Science Team.

Denne jordnære asteroide (med en anslået diameter på 300 m) deler ligeledes sin bane med Jorden, og følger en haletudsebane. Baseret på NEOWISE data og data indsamlet fra jordbaserede teleskoper har astronomerne med sikkerhed fastslået, at 2010 TK₇ for tiden udfører temporære stabile librationer (oscillationer i banens halve storakse) omkring Jordens L₄-punkt med en forholdsvis stor amplitude. Denne karakteristik er vist i panelerne a+b i figur 6.



Figur 6. Jordens første haletudse-asteroide. Panel a): Den røde kurve viser middelbevægelsen af 2010 TK₇, som oscillerer omkring L₄-punktet. Panel b): Vinkelafstanden mellem asteroiden og Jorden. Panel c): Oscillation af asteroidens halve storakse [1]. Figur fra Nature.

Dog er denne banetilstand kun midlertidig og kortvarig set på astronomisk tidskala. På baggrund af numeriske banesimuleringer og med henvisning til figur 6, viser det sig, at 2010 TK₇ til tider “hopper” fra L₅ til L₄ og muligvis tilbage igen med kortvarige ophold tæt på disse to ligevægtpunkter. Det sidste hop fra L₅ fandt sted for omkring 1600 år siden. Indenfor det restringerede tre-legeme problem kan dette skift kun ske igennem L₃. Desuden er det kun bestemte værdier af asteroidens Jacobikonstant, som tillader et sådant hop (jævnfør figur 2k, 2l og 2m). For mindre værdier af C_J bliver L₄ og L₅ separeret fra hinanden, og eventuelle hop er ikke længere mulige uden at betragte andre forstyrrende effekter som for eksempel Jupiters gravitationelle indflydelse. Banesimuleringerne tyder også på, at det er muligt for 2010 TK₇ at skifte banekaraktøren fra en haletudse- til en hestesko-bane. I dette tilfælde vil 2010 TK₇ have samme banekarakter som 2010 SO₁₆. På grund af dens forholdsvis store banehældning kan det desuden forekomme, at 2010 TK₇ bliver indfanget tæt omkring L₃-punktet, som, set fra Jorden, ligger lige bag Solen (se figur 3). Selvom denne type bane omkring L₃-punktet teoretisk set kan forekomme, så har man dog aldrig observeret objekter med denne bane for Jord-Sol L₃-punktet (de er svære at lede efter på grund af Solen) eller L₃ for de andre planeter i Solsystemet.

Ifølge [1] er dynamikken af 2010 TK₇ så kaotisk, at dens bane kun kan beregnes præcist over en periode på 250 år, mens den generelle dynamik kun kan beskrives over en periode på ca. 7000 år.

Hvor kommer de fra og hvad kan vi lære fra dem?

Indtil videre er der kun opdaget en håndfuld af disse særlige følgesvende til Jorden. Deres antal og hvor de kommer fra er ikke rigtigt forstået på nuværende tidspunkt. Eksistensen af en eventuel større population af jordiske trojaner vil stille spørgsmål omkring deres oprindelse.

En forklaring kunne være indfangning fra Asteroidebæltet. Som kort beskrevet i starten, så er det muligt for Jupiter at have tilpas stor indflydelse til at transportere objekter fra Asteroidebæltet til omegnen af de terrestriske planeter. Denne mekanisme kunne føre til en indfangning omkring L₄ eller L₅ for Jordens vedkommende. Selvom en sådan indfangning ikke er umulig, så er denne mekanisme ikke særligt effektiv, da den kræver finjusterede parametre. En indfangning ville være væsentligt nemmere ved virkning af en eller flere dissipative kræfter (såsom gnidning mellem trojaneren og masse i form af gas eller støv) for at tabe en tilpas mængde energi for at mindske banens halve storakse. Et aktuelt eksempel er, at Solens strålingsindvirkning på asteroider kan bidrage til, at banens radius formindskes. Denne effekt er kendt som Yarkovsky-effekten, og kan også have en betydning for ændringer i asteroidens rotationshastighed som det blev observeret for asteroiden med betegnelsen “54509 YORP”. Yarkovsky-effekten for jordnære asteroider kan ændre den halve storakse med 10^{-9} AU/år [5]. Selvom denne effekt synes at være effektiv til at fjerne jordnære asteroider gennem den tid Solsystemet har eksisteret, så viser nogle studier med fokus på Mars’ trojanere, at Yarkovsky-effekten alligevel ikke har en destabiliserende effekt, som kunne fjerne disse objekter.

Der er på nuværende tidspunkt stor fokus på denne forskningsgren. Det første skridt er at bestemme antallet af jordiske trojanere. En jordbaseret fotometrisk opfølgingskampagne vanskeliggøres netop, fordi observationstidsrummet er lille, og ligger i minutterne lige før solopgang (L₄) og lige efter solnedgang (L₅). Der er derfor planer om at bruge GAIA satelliten (som er planlagt at blive placeret tæt på L₂-punktet) i den nære fremtid, for at opdage en eventuel større population af disse følgesvende. Der er ingen tvivl om, at eksistensen af denne specielle klasse af asteroider, vil give mulighed for at studere solsystemets beskaffenhed og muligvis kaste nyt lys på Jord-Måne systemets oprindelse og Solsystemets dynamiske udvikling.

Litteratur

- [1] Connors, M., Wiegert, P. and Veillet, C. (2011), *Nature* vol. **475**, p. 481.
- [2] Todd M., Tanga, P., Coward, D.M., Zadnik, M.G. (2011), <http://arxiv.org/pdf/1111.1127v1> (indsendt til MNRAS).
- [3] Wiegert, P., Innanen, K., Mikkola, S. (1997), *Nature* vol. **387**, p. 685.
- [4] NEO-WISE: <http://neo.jpl.nasa.gov/programs/neowise.html>.

- [5] Christou, A. & Asher, D. (2011), *MNRAS* vol. **414**, p. 2965.
- [6] Wajer, P. et al. (2009), 2002 AA29: Earth's recurrent quasi-satellite?, *Icarus* vol. **200**, p. 147.
- [7] Connors, M. et al. (2004), Discovery of Earth's quasi-satellite, *M&PS* vol. **39**, p. 1251.
- [8] Mikkola et al. (2006), Stability limits for the quasi-satellite orbits, *MNRAS* vol. **369**, p. 15.
- [9] Murray, C. D. and Dermott, S. F. (2001), *Solar System Dynamics*, Cambridge University Press.



René Michelsen er ph.d. i astronomi og har en baggrund i celestmekanik og dynamik, spektroskopi af jordnære asteroider og meteoritter, samt rumfartsindustrien. Han arbejder i dag som projektleder.



Tobias Cornelius Hinse er post-doc ved Korea Astronomy and Space Science Institute i Sydkorea. Han er astronom fra NBI, KU og ph.d. fra Armagh Observatoriet/Queens University Belfast, Nordirland, UK. Han arbejder med dynamiske problemer indenfor Solsystemet og udfører både teoretisk og observationel forskning indenfor extrasolære planeter blandt andet ved brug af den Danske 1,5 m kikkert ved ESO, La Silla-observatoriet i Chile. For tiden arbejder han på dynamikken indenfor extrasolære cirkumbinære planeter (planeter der kredser om dobbeltstjerner).

Dansk Fysisk Selskab – Årsmøde den 19.-20. juni

Dansk Fysisk Selskab

Hjemmeside: www.dfs.nbi.dk

Ian Bearden (formand)

Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Blegdamsvej 17, 2100 København Ø

E-mail: bearden@nbi.dk

Tlf. 35325323

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

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

Ulrik Uggerhøj (ulrik@phys.au.dk)

Kim Lefmann (lefmann@fys.ku.dk)

Mette Grage (mmlg@dmu.dk)

Peter Uhd Jepsen (puje@fotonik.dtu.dk)

Jørgen Schou (josc@fotonik.dtu.dk)

Jørgen Beck Hansen (beck@nbi.dk)

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

DFS årsmøde 2012

Dansk Fysisk Selskab afholder sit årsmøde 2012 på Hotel Nyborg Strand. Mødet starter tirsdag den 19. juni kl. 11 og slutter onsdag den 20. juni kl. 16. På andendagen afholder DFS sin årlige generalforsamling.

DFS-årsmødet vil indeholde følgende plenarforedrag:

- Frank Bertoldi, Argelander-Institut für Astronomie, University of Bonn, Germany: *The birth*

and evolution of galaxies: Prospects with ALMA (Atacama Large Millimetre Array).

- Petra Rudolf, University of Groningen, The Netherlands: *Spectroscopy of graphene, carbon nanotubes and other carbon molecules.*
- Laurens Molenkamp, University of Würzburg, Germany: *Dirac fermions in HgTe – the quantum spin Hall effect.*
- En foredragsholder fra LHC (se navn på DFS' hjemmeside) fra CERN med sidste nyt.
- Der vil som sædvanligt være en fremtrædende foredragsholder som after-dinner speaker.

Som en nyskabelse vil Dansk Fysisk Selskab give lovende, nyetablerede yngre forskere mulighed for plenarforedrag. Disse foredrag kan ikke søges, men vil blive udvalgt af Dansk Fysisk Selskabs bestyrelse. Derudover vil der være parallelsessioner i atomfysik, faststoffysik, nanofysik, kerne- og partikelfysik, biofysik samt uddannelse og undervisning. Sideløbende hermed vil forskningsresultater blive præsenteret som posters. DFS lægger herunder særlig vægt på at give yngre forskere mulighed for at præsentere deres resultater for en bredere kreds. Endelig vil der være en firma udstilling med nyt forskningsapparat for DFS' medlemmer.

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 af spændende forskningsresultater.

Program

Årsmødeprogrammet findes på DFS' hjemmeside (www.dfs.nbi.dk). Det vil løbende blive opdateret i takt

med modtagelsen af indsendte abstracts. Det endelige program forventes at være klart starten af juni.

DFS posterprisen 2012

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

Frist for tilmelding og indsendelse af abstracts

Fristen for tilmelding til årsmødet og for indsendelse af abstracts er onsdag den 16. maj 2012. Tilmeldinger modtages dog også efter denne dato, så længe der er plads på hotellet, men studerende kan ikke søge om friplads (se nedenfor) efter tilmeldingsfristens udløb. Også abstracts kan indsendes efter fristens udløb, men dels kommer disse ikke nødvendigvis med i abstractlisten og dels får indsenderen kun mulighed for en posterpræsentation.

Tilmelding, indkvartering, priser m.v.

Tilmelding til DFS foretages direkte til Hotel Nyborg Strand. Benyt venligst internet-linket til hotellet på DFS's hjemmeside (www.dfs.nbi.dk). Møderne samt indkvartering foregår på Hotel Nyborg Strand, Østerøvej 2, DK 5800 Nyborg. (tlf. +45 6531 3131, fax +45 6531 3701). Pris for mødedeltagelse, incl. eventuel overnatning og diverse måltider, fremgår af hjemmesiden. Prisen for fuldt ophold med enkeltværelse vil være omtrent den samme som sidste år, ca. 2600 kr. for medlemmer. Betalingsmåder vil fremgå af hotellets bekræftelse, som fremsendes i slutningen af maj måned. Bemærk, at man frem til den 16. maj frit kan afbestille sin tilmelding, men efter denne dato er tilmeldinger almindeligvis bindende.

Fripladser for studerende: Søg senest den 16. maj!

For studerende, der ikke er indskrevet på ph.d.-studiet, vil der være et antal fripladser. Ansøgning om en af fripladserne sker automatisk ved at afkrydse den relevante rubrik på hjemmeside-tilmeldingsskemaet. Studerende kan få friplads af DFS, og her er det en forudsætning, at man er medlem. Fripladserne vil blive fordelt kort tid efter tilmeldingsfristens udløb, og man vil modtage særskilt besked herom den 31. maj. Hvis pladserne er brugt op, har man fortsat mulighed for at deltage mod betaling som anført på tilmeldingsskemaet.

Abstracts

Fristen for indsendelse af abstracts er torsdag den 16. maj 2012. Abstracts indsendes via DFS' hjemmeside (www.dfs.nbi.dk). DFS' sektioner sammensætter programmet på grundlag af bl.a. de indsendte abstracts, og deltagerne vil få meddelelse herom, hvis deres bidrag er udvalgt til et foredrag. De øvrige bidrag (samt hvis man ikke ønsker foredrag) vil blive præsenteret i en posterudstilling. Posterboards er 1,15 m brede og 1,45 m høje, og de er hævet ca. 30-40 cm over gulvet. Se endvidere omtalen af DFS posterprisen 2012 ovenfor. De indsendte abstracts vil løbende være tilgængelige på internettet. Overhold venligst tidsfristen for rettidig indsendelse (se afsnittet om tidsfrister ovenfor).

Sprog

Årsmødets sprog er engelsk. Enkelte sessioner, f.eks. indenfor uddannelse og undervisning, kan foregå på dansk. Deltagerne bedes indrette deres præsentationer efter, at hovedparten af tilhørerne er ikke-specialister i det behandlede emne.

Transport

Transport til/fra Nyborg sørger deltagerne selv for. Der vil ikke blive arrangeret bustransport mellem Nyborg Station og Hotel Nyborg Strand. Det tager kun 10-15 minutter at spadsere mellem station og hotel.

Yderligere information

Spørgsmål vedrørende årsmødet besvares ved at sende en e-mail til Ian Bearden (bearden@nbi.dk). Benyt venligst kun denne adresse til henvendelser vedr. årsmødet.

Kvinder i Fysiks årsmøde den 18. juni

Årsmødet vil foregå på Hotel Nyborg Strand med følgende program:

10.00 Ankomst og indregistrering.
10.15 Velkomst ved KIF-formand Mette M.-L. Grage.
10.30-15.00 Foredrag ved bl.a. årets KIFprisvinder og vores internationale gæst i år, Petra Rudolf, professor i eksperimentel faststoffysik, University of Groningen.
15.15-16.30 Generalforsamling.

Dagen afsluttes med en fælles selvbetalt middag i Nyborg. Dette plejer at være særdeles hyggeligt.

Der vil være mulighed for at præsentere poster. Tilmelding sker gennem DFS' hjemmeside og linket til Hotel Nyborg Strand. Her vil priserne fremgå.

Netværk for Kvinder i Fysiks talentpris – KIF-prisen 2012

A. Formål

KIF-prisen uddelles for at skabe opmærksomhed omkring kvinders betydning for fysikkens udvikling. Prisen skal opmuntre og støtte unge kvindelige fysikere til at fortsætte deres videnskabelige karriere efter kandidatgraden og videre efter erhvervelse af ph.d.-graden, og/eller at gøre kvindelige fysikere synlige som rollemodeller såvel på universiteterne som i samfundslivet og i erhvervslivet.

KIF-prisen er en ærespris der gives til en kvindelig ph.d.-, specialestuderende eller nyuddannet lærer, hvis arbejde udmærker sig ved videnskabelig originalitet, særligt vellykket formidling af sit arbejde til en bred kreds eller en ekstraordinær formidlingsindsats i sin undervisning.

B. Hvem kan indstilles?

Kandidater til prisen kan indstilles af en overordnet, vejleder, kollega eller kandidaten selv. Kandidaterne skal beskæftige sig med de fysiske fag og ydermere opfylde en af følgende betingelser:

- Være i gang med speciale.
- Være i gang med pædagogikumuddannelse.
- Være i gang med ph.d.-uddannelse.
- Have erhvervet deres kandidatgrad indenfor de seneste fem år (kandidatalder maksimum fem år, d.v.s. man kan godt have afsluttet sin ph.d.).

C. Indstillingsprocedure

1. Indstillingerne skal indsendes til: KIFprisen@ruc.dk.
2. Indstillingerne skal være modtaget senest klokken 12, mandag den 14. maj 2012.
3. Indstillingen skal indeholde følgende bilag: Begrundelse for indstillingen (max. 1 side), CV (max. 1 side), Detaljeret beskrivelse af kandidats faglige arbejde (max. 1 side), Evt. publikationsliste. Hvis den pågældende er indstillet for formidling af egne forskningsresultater, skal der indsendes relevant materiale.
4. Udvælgelse. Kandidaterne vil blive bedømt af en videnskabelig komité bestående af centerleder Britt Hvolbæk Larsen, NanoDTU; professor Merete Bilde, Kemisk Institut, Københavns Universitet og professor Ove Poulsen, rektor for Ingeniørhøjskolen i Århus.

D. Oplysning vedrørende prisen:

Prismodtageren vil blive orienteret skriftligt (pr. email) og hendes navn offentliggjort på KIFs årsmøde, hvor prisoverrækkelsen vil ske. Eventuelle spørgsmål kan sendes til KIFprisen@ruc.dk og vil blive besvaret af et bestyrelsesmedlem for KIF. Prisvinderen forventes at holde et foredrag ved KIFs årsmøde på Hotel Nyborg Strand mandag den 18. juni.

Foreningsnyt – foredrag i foråret

Foredragskalender

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Mar.				
12/3	19.30	Menneskets og dets bakteriers genomer – betydningen for risiko for type 2 diabetes og fedme	Oluf Borbye Pedersen	SNU
19/3	19.15	NuSTAR – astronomernes skarpe røntgenblik	Allan Hornstrup	AS (Kbh)
26/3	19.00	NuSTAR – astronomernes skarpe røntgenblik	Allan Hornstrup	AS (Årh)
27/3	17.00	Kalenderen – et antik værkøj, endnu i daglig brug	Christian Marinus Taisbak	VHS
Apr.				
2/4	14.00	Virksomhedsbesøg hos det nyåbnede BGI Europe	se www.naturvidenskab.net	SNU
16/4	19.15	Tidsmaskiner i Rummet: Hubble og James Webb Rumteleskoperne	Peter Jakobsen	AS (Kbh)
16/4	19.30	Det danske sygdomsnetværk. Derefter generalforsamling	Søren Brunak	SNU
17/4	17.00	Quantum dissidents: Research on the foundations of quantum theory circa 1970	Olival Freire Jr.	VHS
23/4	19.00	Tidsmaskiner i Rummet: Hubble og James Webb Rumteleskoperne	Peter Jakobsen	AS (Årh)
Maj				
7/5	19.15	Herschel - universets varmekølsomme øje	Jes Jørgensen	AS (Kbh)
14/5	19.00	Herschel - universets varmekølsomme øje	Jes Jørgensen	AS (Årh)

AS (Kbh): Astron. Selskab (København), Auditorium 4, H.C. Ørsted Instituttet, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (www.astronomisk.dk).

AS (Årh): Astron. Selskab (Århus), Matematisk Inst., Aarhus Universitet, Ny Munkegade, Bygn. 1530, Aud. D2, 8000 Århus C.

SNU: Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K (www.naturvidenskab.net).

VHS: Videnskabshist. Selskab, H.C. Ørsted Inst., aud. 10, Universitetsparken 5, 2100 Kbh Ø (www.math.ku.dk/videnskabshistorie).

Astronomisk Selskab

Astronomi fra rummet. Foredrag foråret 2012. Muligheden for at foretage astronomiske observationer fra satellitter har betydet et stort fremskridt for vores forståelse af Universet, fordi satellitterne kan observere de former for stråling, som Jordens atmosfære ikke slipper igennem til de jordbaserede teleskoper.

Stråling med høj energi – ultraviolet, røntgen og gamma-stråling – stoppes helt af atmosfæren. Stråling med lav energi – f.eks. infrarød og mikrobølgestråling – slippes kun til en vis grad igennem atmosfæren, mens synligt lys og radiostråling passerer stort set uhindret ned til jordoverfladen.

For astronomerne er der masser af information at hente ved at studere optagelser af de forskellige slags stråling, der kommer fra det samme objekt, idet det typisk er forskellige fysiske mekanismer, der er årsag til de forskellige typer stråling. I denne foredragsrække vil førende forskere fortælle om den nyeste igangværende forskning der udføres med forskellige typer af rumteleskoper.

Foredragene afholdes i samarbejde mellem Astronomisk Selskab og Folkeuniversitetet. De er tilrettelagt af Anja C. Andersen, Astronomisk Selskab.

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Foredragsrække med temaet Den genetiske tsunami. Virksomhedsbesøget annonceres på www.naturvidenskab.net.

Videnskabshistorisk Selskab

Foredragene afholdes på H.C. Ørsted Instituttet i København. Kl. 16.30 byder selskabet på kaffe, te og frugt i Institut for Matematiske Fags frokoststue, rum 04.4.19 på 4. sal. Man er velkommen til at gå med ud at spise med foredragsholderen

efter foredraget, på egen regning.

Foredrag i
Selskabet for Naturlærens Udbredelse
SNU



*Selskabet er stiftet i 1824 af H.C. Ørsted
Selskabets protektor er Hendes Majestæt Dronning Margrethe II*

Forårets program 2012

Forårets foredragstema er "Den genetiske tsunami"

6. Februar 2012 kl. 19.30: Dansk-kinesisk Genomforskning
v/ professor Karsten Kristiansen, Biologisk Institut, Københavns Universitet
Foredraget holdes på Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, Kbh. K

20. februar 2012 kl. 19.30: De danske registre og biobanker
v/ Sektordirektør, professor, dr.med. Mads Melbye, Statens Seruminstitut
Foredraget holdes på Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, Kbh. K

12. marts 2012 kl. 19.30: Menneskets og dets bakteriers genomer
– betydningen for risiko for type 2 diabetes og fedme
v/ Forskningsdirektør, professor, dr.med. Oluf Borbye Pedersen,
Novo Nordisk Fondens Center for Basal Metabolisme
Foredraget holdes på Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, Kbh. K

2. april 2012: Virksomhedsbesøg, kun for medlemmer
Detaljer annonceres senere på www.naturvidenskab.net

16. april 2012 kl. 19.30: Det Danske Sygdomsnetværk
v/ Professor Søren Brunak, Center for Biologisk Sekvensanalyse, DTU
Efter foredraget er der generalforsamling
Foredraget holdes på Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, Kbh. K

Alle interesserede er velkomne til selskabets foredrag - det er ingen forudsætning, at man er medlem.
Se mere om Selskabet på www.naturvidenskab.net

Forespørgsler angående møderne kan rettes til:
Dorte Olesen, DTU Matematik, Tlf.: 21260350 eller e-mail: snu@naturvidenskab.net

Af Sven Munk og John Rosendal Nielsen, KVANT

Stort ocean forsvundet på Mars

PLANETFYSIK. Radarmålinger med rumsonden Mars Express har afsløret 80 m tykke sedimentaflejringer på den nordlige halvkugle af Mars. Dette anses for det hidtil bedste bevis på, at Mars i sin tidlige historie havde et stort ocean. Dette resultat står i modstrid med det budskab, som den amerikanske sonde Phoenix har afleveret. Her var bedømmelsen, at den store vandmængde kun eksisterede i nogle få tusind år.

Med radarsystemet MARSIS kan Mars Express se ned til 60-80 m under planetens overflade. Forskerne fandt, foruden sedimenter, også is i et område begrænset af strukturer på Marsoverfladen, som kunne minde om kystlinjen for et udtørret ocean. Dette ocean er antagelig opstået ved et nedslag af en asteroide for 3 mia. år siden. Den voldsomme varmeudvikling, som fulgte nedslaget, har smeltet isen i undergrunden. I løbet af 1 mio. år er vandet forsvundet igen – dels ved fordampning og dels ved igen at blive is.



Et andet forskerteam, med Tom Pike som leder, har undersøgt den allernordligste del af Mars overflade. Her viser mineralogiske undersøgelser, at der i flere hundrede millioner år har hersket en ekstrem tørke. Selv under gunstige betingelser kunne marsoverfladen kun have været påvirket af flydende vand i 5000 år. Et tidsrum forskerne anser for alt for kort til, at liv kan opstå.

Kilder: Dielectric map of the Martian northern hemisphere and the nature of plain filling materials, J. Mouginot et al.; *Geophysical Research Letters*; Quantification of the dry history of the Martian soil inferred from in situ microscopy, W.T. Pike et al., *Geophysical Research Letters*.

Mere europæisk radioastronomi

ASTRONOMI. For at udvikle radioastronomi-netværket "RadioNet" har den europæiske kommission for årene 2012-2015 afsat 9,5 mio. euro til finansiering af RadioNet3-programmet. I dette indgår et par store projekter, bl.a. opbygning af verdens største radioteleskop "Square Kilometre Array" (SKA) og det for nylig idriftsatte "Atacama Large Millimetre/submillimetre Array" (ALMA). ALMA (se billede) er placeret i 5.100 m højde i Atacama-ørknen i Chile.



Forskningsopgaverne ledes af et konsortium bestående af 27 institutter – omfattende de fleste større europæiske radioastronomiske faciliteter og partnere i Sydkorea, Australien og Sydafrika.

Programmet RadioNet3 skulle også betyde bedre udstyr f.eks. i det 100 m store radioteleskop i Effelsberg. Ambitionen er, at dække det komplette frekvensspektrum, som er relevant for radioastronomi. Fra det hidtil svagt udforskede dekameter-bånd, "LOFAR" (= Low Frequency Array), og op til frekvenser, hvor bølgelængden er submillimeter. Sidstnævnte bølgeområde dækkes af: JCMT (Hawaii), IRAM (Frankrig/Spanien) og APEX/ALMA (Chile).

Kilder: Presse info: <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/public/pr/pr-radionet2012-dt.html>; RadioNet [Advanced Radio Astronomy in Europe], <http://www.radionet-eu.org>; Max-Planck-Institut für Radioastronomie [MPIfR], <http://www.mpifr.de>; Atacama Large Millimetre/submillimetre Array [ALMA], <http://www.alma-telescope.org>; Square Kilometre Array [SKA], <http://www.skatelescope.org>.

Brints metamorfose

FASTSTOFFYSIK. I årtier har forskere forsøgt at påvise, at brint får metalliske egenskaber, når det udsættes for tilstrækkeligt stort tryk. Steder, hvor en sådan egenskab kunne spille en rolle, er de store gasplaneter. Jupiter består således hovedsageligt af brint. Indtil for nylig var muligheden for at skabe metallisk brint begrænset af de eksperimentelle muligheder.

Selv ved et tryk på 3,5 millioner bar lykkedes det ikke at påvise metalliske egenskaber. Hidtil har eksperimenterne været udført ved meget lave temperaturer, fordi de anvendte diamantstempler ikke kunne holde ved stuetemperatur.

Det nye er en ændring af trykcellens opbygning, så det er blevet muligt at skabe et tryk på 3 millioner bar uden nedkøling. Ved et tryk på 2 millioner bar observerede forskerne, at krystalstrukturen i brinten begyndte at ændre sig. Med et voksende tryk gik brinten fra at være transparent til dunkel – for til sidst at ende som uigennemsigtig. I den dunkle tilstand skønnede forskerne, at brint var blevet en halvleder. Med laserlys kunne man forøge den elektriske ledningsevne. Ved et tryk på 2,7 millioner bar synes forandringerne i strukturen at være standset, men samtidig var den elektriske ledningsevne vokset markant. Fænomener af denne art er

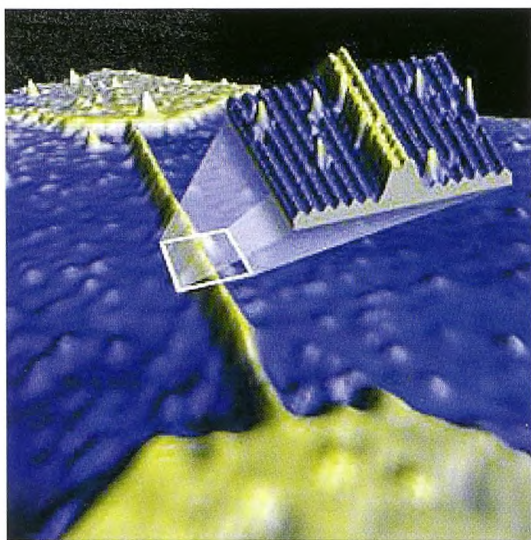
netop det, der tænkes at ledsage overgangen fra isolator til metal.

Artiklens forfattere er, trods kritiske bemærkninger fra andre forskere, overbevist om, at de er på rette vej med deres fortolkning. De påpeger bl.a. de ret besværlige eksperimentelle forhold, som mulig årsag til forskelle i vurderingerne.

Kilde: *Nature Materials* 10, 927-931 (2011).

Elektrisk leder der er 4 atomer bred

NANOFYSIK. Arbejder man som forsker med nanostrukturer, må man være forberedt på at opgive traditionelle tankesæt. Laver man en elektrisk leder med et tværsnit på 1×4 atomer, vil det ikke være helt indlysende, at Ohms lov skulle gælde. Forskere i Sydney har nu skabt en sådan leder ved, med et rastertunnelmikroskop, enkeltvis, at anbringe fosfor-atomer på en enkrystal af silicium.



Perspektivet for dette forskningsprojekt er muligheden for en fortsat reduktion af dimensionerne på elektroniske kredsløb. I tidligere projekter, hvor målet var at gøre kredsløb endnu mindre, har man oplevet, at mindre lederdimensioner ofte ledsages af forøget specifik modstand.

Forskerne i Sydney påviste, at deres leder virker som en almindelig tråd af kobber, dvs. Ohms lov gælder. Forskerne fremhæver desuden, at den specifikke modstand er lille, hvilket betyder, at lederen kan arbejde med en forholdsvis stor strømtæthed.

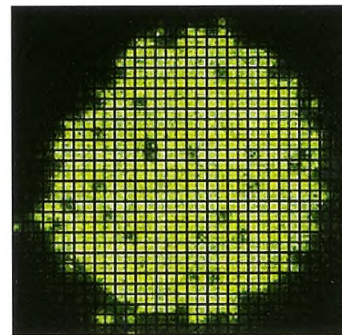
Kilde: Quelle: Ohm's Law Survives to the Atomic Scale, B. Weber et al. (2012), *Science*, DOI: 10.1126/science.1214319; Centre for Quantum Computation and Communication Technology, <http://www.cqc2t.org>, School of Physics, University of New South Wales.

Tættere på det absolutte nulpunkt

LAVTEMPERATURFYSIK. Fysikere har nu sænket grænsen for hvor lav temperatur, der kan realiseres i et laboratorium. Hidtil har den således frembragte temperatur været nogle nK (nanokelvin).

Den nye metode baseres på, at forskerne tænker kvantemekanisk. En sky af stærkt afkølede Rubidium-atomer tømmeres successivt for entropi, hvilket er ensbetydende med lavere temperatur. Processen kan også beskrives som en proces, der skubber systemet fra uorden til orden.

I første omgang skabes et gittersystem defineret af en række parallelle laserstråler, som det kan læses ud af billedet. Herved opstår et system, som har en række energimæssige fordybninger (tænk på en æggebakke), hvor Ru-atomerne kan leje sig.



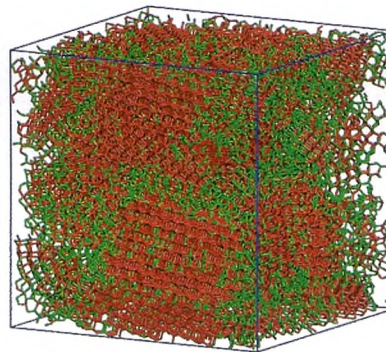
Når Ru-atomerne er fanget i disse fordybninger, kan atomerne målrettet beskydes med laserlys. Herved kan en del af et atoms energi (eller nærmere entropi) skubbes over på andre atomer. De energimodtagende atomer vil herefter forlade kvantesystemet og bringe energi med sig. Tilbage i kvantesystemet vil være de atomer, som er skubbet længere ned på temperaturskalaen. Til sidst nås en temperatur, der kan angives i pK (picokelvin eller 10^{-12} K).

Kilder: Orbital excitation blockade and algorithmic cooling in quantum gases, Waseem S. Bakr et al., *Nature*; (<http://dx.doi.org/10.1038/nature10668>).

Underafkølet vand forklares

TERMODYNAMIK. Det er børnelærdom, at vand fryser til is ved 0°C . Det er dog ikke hele sandheden, for rent vand kan være i væskeform, selv om temperaturen er under 0°C . En sådan tilstand betegnes underafkølet vand. Efter sigende er denne ikke usædvanlig for vanddråber langt oppe i atmosfæren/skyerne.

Forskerne stillede derfor spørgsmålet: Hvor langt ned på temperaturskalaen skal man gå, før vand med sikkerhed ændrer tilstand fra væske til is? Efter at have sendt en computer på overarbejde kom den ud med resultatet: -48°C .



Den gennemførte computersimulering omfattede 10.000 molekyler (se billede). Al viden om vandmolekyler indgik som parametre. Da temperaturen blev sat til -48°C , dannes sammenhængende tetraeder-strukturer, hvor det enkelte vandmolekyle via svage bindinger forbandt sig til fire andre vandmolekyler.

Dette, ved første øjekast ret teoretiske resultat, kan dog få betydning for vigtige parametre i klimamodeller. Der er således forskel på, hvor meget og hvordan sollys spredes af henholdsvis vanddråber og iskrystaller.

Af ovenstående følger behovet for et forskningsprojekt, der kan opklare, hvorfor vand fryser til is ved 0°C . Hvem melder sig?

Kilder: Structural transformation in supercooled water controls the crystallization rate of ice, Emily B. Moore & Valeria Molinero, *Nature*, doi: 10.1038/nature10586, <http://www.nature.com/nature/journal/v479/n7374/full/nature10586.html>.

Geofysikere – se her!

GEOFYSIK. For godt 100 år siden stillede meteorologen Alfred Wegener sig spørgsmålet: Passt die Ostküste Südamerikas nicht genau zu der Westküste Afrikas? (Passer Sydamerikas østkyst ikke præcis med Afrikas vestkyst?). Efter at have tænkt en del over dette spørgsmål, fremsatte han 1912 sin hypotese om kontinentaldriften. Det skete d. 6. januar 1912 ved generalforsamlingen i den Geologiske Forening i Frankfurt am Main.



Der gik dog 50 år, før videnskaben tog denne teori alvorligt. For os nulevende, som ved, at Europa og Amerika fjerner sig fra hinanden med nogle cm om året, kan denne tøven virke ejendommelig. Men på Wegeners tid var de eksperimentelle muligheder for at måle noget som helst, der kunne af- eller bekræfte kontinentaldrift, nærmest ikke-eksisterende.

100-årsdagen for Wegeners foredrag har fået Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) til at sammenstille noget historisk materiale, som man kan stifte bekendtskab med på internettet.

Kilde: Materiale på engelsk, http://www.awi.de/en/news/focus/2012/-the_100th_anniversary_of_alfred_wegeners_continental_drift_theory.

Solstorm rammer Jorden

SOLFYSIK. Efter en længere periode med manglende aktivitet på Solen er den blevet særdeles aktiv og har haft flere større udbrud. Det seneste udbrud fandt sted den 23. januar og det har skabt den voldsomste solstorm siden maj 2005.

En solstorm er en kraftig forøgelse af strømmen af primært protoner fra Solen. Disse positivt ladede kernepartikler bliver udsendt med en hastighed nær lysets og kan forårsage store skader på satellitter og astronauter i rummet. Særligt voldsomme solstorme kan forstyrre radiokommunikationen her på Jorden. Solstormene inddeles i fem kategorier afhængigt af deres styrke (S1 til S5), hvor S5 er den kraftigste. Den nævnte storm var en kategori S3, hvor der er beskeden risiko for såvel mennesker som satellitter. Der opstår i gennemsnit 10 solstorme på S3-niveau i løbet af Solens 11-årige aktivitetscyklus.

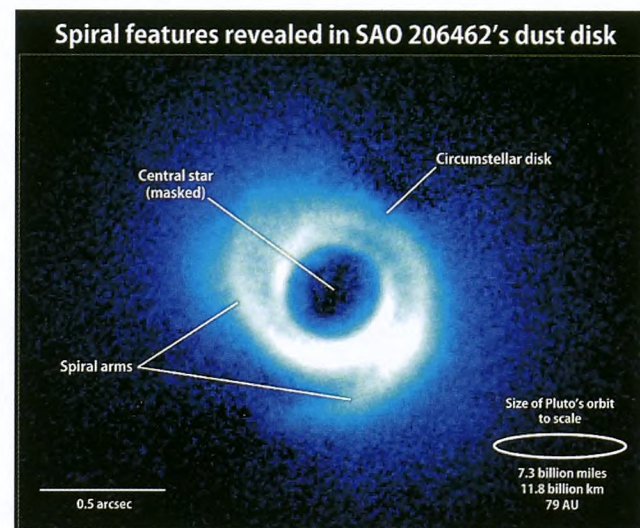
Udbruddene på Solen betyder desuden, at der opstår de såkaldte "koronale masseudkastninger", hvor der udslynges partikler fra Solens korona med lavere hastigheder (typisk mellem 500 km/s og 2.000 km/s). De kan forstyrre Jordens magnetfelt kraftigt, hvilket bl.a. fører til de smukke nordlys. Der er mere i vente i de kommende måneder, idet Solen netop er på vej mod et aktivitetsmaksimum formentligt i 2013.

Kilde: planetarium.dk/artikel/solstorm-rammer-jorden.

En stjerne med spiralarme

ASTRONOMI. Der findes mange forskellige typer af stjerner i galakserne. Der er dobbeltstjerner, hvide dværge, røde kæmpestjerner, pulserende stjerner og nu også stjerner med spiralarme. I galakser er spiralarme et kendt fænomen, men hos stjerner er det første gang, at man har observeret det.

Den unge stjerne med spiralarmene hedder SAO 206462 og findes i stjernebilledet Ulven mere end 400 lysår fra Jorden. Astronomerne fandt de to spiralarme på SAO 206462 ved hjælp af Subaru teleskopet på Hawaii.

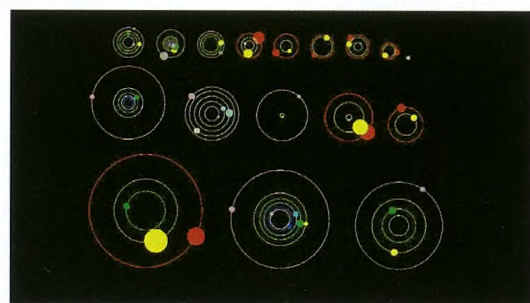


De to spiralarme er opstået i skiven af støv og gas, der omgiver stjernen. Skiven selv er omkring dobbelt så bred som Plutos bane, og forskerne har haft en stærk mistanke om, at der dannes planeter indeni skiven. De nye observationer er blevet sammenlignet med detaljerede computersimuleringer og de indikerer, at to mulige planetobjekter kan have skabt disse spiralstrukturer. Astronomerne er dog meget forsigtige med at forklare spiralarmene som en del af planetdannelsen, idet de endnu ikke har observeret de to planeter, og der kan være andre grunde til strukturdannelsen. Indtil der kommer bedre data, eller konkrete observationer af planeterne, kan forskerne ikke være sikre.

Kilde: science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2011/31oct_spiralarms.

Keplers nye planetopdagelser

ASTRONOMI. I et tidligere nummer af Kvant (nr. 2, 2011) har Lars A. Buchhave beskrevet Kepler-missionen. I maj 2009 begyndte NASA-satellitten sin jagt på exoplaneter ved løbende at optage billeder af det samme område af himlen mellem stjernebillederne Lyren og Svanen. Optagelserne gør astronomerne i stand til at overvåge mere end 150.000 stjerners lysstyrke i området og afsløre, om nogle af stjernerne med jævne mellemrum bliver svagere i kortere perioder, hvilket kan skyldes planeter, der formørker stjernen.



Den 26. januar i år præsenterede forskerne bag missionen de seneste fund af exoplaneter. Det er blevet til i alt 26 nye planeter fordelt i 11 planetsystemer. Der er forventninger om, at mange flere exoplaneter er i vente.

Kilder: planetarium.dk/artikel/flere-planetfund-fra-kepler; www.nasa.gov/mission_pages/kepler/news/new-multi-systems.html.

Relativistisk bordtennis og neutronabsorption

– breddeopgaver 47 og 48 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, NSM, RUC

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

Her bringes løsninger og kommentar til opgaverne fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaverne i sidste nummer af KVANT var disse breddeopgaver fra RUC (nr. 47 og 48 i rækken her i KVANT):

Breddeopgave 47 og 48. Relativistisk bordtennis og neutronabsorption

Et bat bevæges imod en bordtennisbold kastet op til serv. Find ved en relativistisk beregning farten af bordtennisbolden umiddelbart efter at være blevet stødt til af battet. Begrund svaret.

En neutron med stor fart absorberes af en hvilende atomkerne. Med hvilken fart bevæger den nye atomkerne sig herefter? Begrund svaret.

Løsninger

47. Lad os kalde farten battet bevæges med for v . Set fra battets system, der altså bevæger sig med farten v i forhold til bordtennisbordet, bevæger bordtennisbolden sig med den samme fart v i modsat retning før sammenstødet med battet. Idet battet regnes for tungt og vi regner stødet for elastisk, således at bordtennisbolden ikke mister energi ved stødet, bevæger bordtennisbolden efter stødet sig i forhold til battet med farten v i samme retning som battets bevægelse i forhold til bordtennisbordet. Farten af bordtennisbolden efter stødet i forhold til bordtennisbordet, w , fås herefter ved hastighedsaddition af battets fart i forhold til bordet med bordtennisboldens fart i forhold til battet:

$$w = \frac{v + v}{1 + v \cdot v/c^2} = \frac{2v}{1 + v^2/c^2}, \quad (1)$$

hvor c er lysets hastighed.

48. Kaldes neutronens fart v , dens masse m , atomkernens masse før absorptionen af neutronen M , og den nye atomkernes masse og fart efter absorptionen af neutronen M^* og u , gælder på grund af henholdsvis impulsbevarelse og energibevarelse:

$$mv\gamma(v) = M^*u\gamma(u) \quad (2)$$

og

$$mc^2\gamma(v) + Mc^2 = M^*c^2\gamma(u), \quad (3)$$

hvor c er lysets hastighed og f.eks. $\gamma(v) = (\sqrt{1 - v^2/c^2})^{-1}$ som sædvanlig. Herefter fås ved indsætning af $M^*\gamma(u) = m\gamma(v) + M$ fra ligning (3) i ligning (2):

$$u = \frac{mv\gamma(v)}{m\gamma(v) + M} = \frac{mv}{m + M\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (4)$$

som svar på opgaven. Grænsetilfældet $u = mv/(m + M)$ for $v^2/c^2 \rightarrow 0$ ses at stemme overens med den klassiske mekaniske beregning alene ud fra impulsbevarelse.

Kommentar

De studerende klarede opgave 47 forholdsvis godt til eksamenen. Men det hører med til billedet, at de forud i undervisningen havde været udsat for den urelativistiske variant af opgaven: set fra battet er der tale om, at bolden før stødet bevæger sig imod det med farten v og efter stødet bort fra det med farten v . Bordtennisboldens fart i forhold til bordet efter stødet er da summen af battets fart i forhold til bordet v og boldens fart i forhold til battet efter stødet v , dvs. $2v$, der også ses som grænsetilfældet for $v/c \rightarrow 0$ i ligning (1).

Opgaven kan også løses ved regning i bordtennisbordets system: Det tunge bat med massen M og farten v støder elastisk ind i den hvilende bordtennisbold med den lille masse m . Efter stødet har henholdsvis battet og bolden de to ukendte hastigheder y og w . Impulsbevarelsen og energibevarelsen giver så de to ligninger til bestemmelsen af de to ubekendte. Klassisk fås bordtennisboldens hastighed efter stødet via få mellemregninger at være:

$$w = \frac{2v}{1 + m/M} \quad (5)$$

i overensstemmelse med $w = 2v$ i grænsen $m/M \rightarrow 0$.

Relativistisk fås bordtennisboldens hastighed efter stødet via ganske omfattende mellemregninger at være:

$$w = \frac{2v\gamma(v)(\gamma(v) + m/M)}{(\gamma(v) + m/M)^2 + \gamma(v)^2v^2/c^2} \quad (6)$$

i overensstemmelse med ligning (5) for $v/c \rightarrow 0$ og ligning (1) for $m/M \rightarrow 0$.

Det er svært at forestille sig ret mange under eksamensforhold nå frem til ligning (1) som grænsetilfælde

via ligning (6) og alle dens forudgående mellemregninger. Når de studerende klarede opgave 47 forholdsvis godt til eksamen var det derfor fordi de undlod det umiddelbart nærliggende, nemlig at regne i bordtennisbordets system. I stedet ræsonnerede de i battets system, som de i forvejen kendte fidusen ved i det klassiske tilfælde. Herved kom den relativistiske udvidelse af opgaven alene til at dreje sig om en ændret hastighedsaddition. Uden gennemgangen på kurset forud for eksamen af den klassiske version af opgaven havde de studerende formentlig haft meget svært ved opgave 47.

I modsætning til de studerende, der fik stillet opgave 47, klarede de studerende, der blev konfronteret med opgave 48 til eksamen, ikke opgaven særlig godt. Kun få af dem var klar over, at opgaven skulle løses ved at kombinere impulsbevarelse med energibevarelse uden at antage massebevarelse. Tværtimod analogiserede de fleste fejlagtigt med deres erfaringer med uelastiske klassiske stødprocesser, hvor impulsbevarelsen kombineres med massebevarelse og hvor mekanisk energibevarelse ikke kan gøres gældende. Formentlig i mangel på erfaring med at regne relativistisk på stødprocesser i den begrænsede tid, der er levnet til relativitetsteori på breddekurset (4 gange 3 timer). De studerende er blevet introduceret til masse-energi-ækvivalensen. Men de færreste har kunnet kombinere dette med deres klassiske viden om udviklingen af indre energi ved uelastiske stød.

Da min medlærer på breddekurset Poul Winther Andersen, der på det sidste har stået for relativitetsteoridelen af kurset, foreslog opgave 48 som eksamensopgave, vurderede jeg den til at være en regulær standardopgave. I modsætning til de studerende. Derimod var jeg betænkelig ved forslaget om opgave 47 som eksamensopgave, idet en overkommelig løsning af den jo som demonstreret helt hænger på, at man får ideen at analysere stødet i battets system. Men ifølge PWA ville det ikke falde de studerende svært at få den ide, da de under kurset havde gennemregnet det urelativistiske specialtilfælde. Og det fik han jo ret i.

Min pointe med at modstille de to opgaver i artiklen her er at eksemplificere, at hvad der er svært og hvad der er nemt, selvfølgelig afhænger af, hvad der er gået forud. Ved træning i løsning af en række opgaver, som alle er variationer over det samme tema, kan studerende manuduceres til at løse selv tilsyneladende meget vanskelige opgaver, hvis de er variationer tæt på det allerede indøvede. Opgave 47 er her ment som eksempel herpå. Omvendt vil studerende have svært ved selv tilsyneladende nemme opgaver, hvis det kræves, at de kombinerer viden på nye måder. Opgave 48 er her ment som et eksempel herpå.

Formålet med breddekurset er at lære de studerende "at tænke som en fysiker" i højere grad end at træne dem

i et antal standardprocedurer. Samtidig er samlingen af hidtidige eksamensopgaver det definerende for kurset. Derfor skal opgaverne for de studerende udgøre udfordringer i at udbygge deres viden ved at kombinere den på nye måder. Og derfor prøver vi bevidst at undgå udvikling af typeopgaver ved at det samme tema gentages i for mange nærliggende variationer. Set i sammenhængen synes jeg derfor, at opgave 48 er en bedre breddeopgave end opgave 47.

Breddeopgave 49. Kapillarbølger

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra vintereksamen 2011, nr. 49 i rækken her i KVANT):

Breddeopgave 49. Kapillarbølger For korte bølgelængder er det overfladespændingen mere end tyngdekraften, der er bestemmende for overfladebølgers opførsel. Hvordan afhænger udbredelsesfarten af disse såkaldte kapillarbølger af deres bølgelængde? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.



Totalleverandør

**Af kvalitetsvacuumkomponenter
fra markedets førende
producenter**

PFEIFFER-adixen-TRINOS

samt vore partnere

VAT-COMVAT-GAMMA-HSR

Tlf. 4352 3800 Fax 4352 3850
Erik.Fjeldgaard@pfeiffer-vacuum.dk
www.pfeiffer-vacuum.com

Aktuelle bøger

Af Anja Skaar Jacobsen, Jens Olaf Pepke Pedersen og Michael Cramer Andersen

Ørsteds rejsebreve

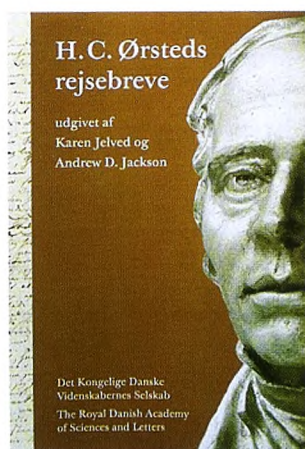
Udgivet af: Karen Jelved og Andrew D. Jackson.

“H. C. Ørsteds rejsebreve (The Travel Letters of H.C. Ørsted)”.

Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab 2011 (Scientia Danica. Series H, Humanistica, 8. vol. 2 og 3).

546 sider, 450 kr.,

www.royalacademy.dk.



Lad os slå fast med det samme: det er ikke meget konkret naturvidenskab vi får indblik i ved at læse H. C. Ørsteds rejsebreve, der nu foreligger i en ucensureret udgave, redigeret og oversat til engelsk af PhD i engelsk Karen Jelved og Professor ved Niels Bohr Institutet, Andrew D. Jackson. Til det formål skal man have fat i M. C. Hardings 2-bind-udgivelse fra 1920 af Ørsteds korrespondance med videnskabsmænd i udlandet. Ørsteds rejsebreve er derimod en helt unik historisk kilde bl.a. til belysning af 1800-tallets centrale videnskabelige institutioner og miljøer, som Ørsted flittigt besøgte på sine rejser rundt om i Europa. Heriblandt kan nævnes École Polytechnique, Conservatoire des Arts et Metiers og Jardin des Plantes, alle i Paris, Royal Institution i London, universitetet i Cambridge og de mange videnskabelige akademier.

I brevene vrimler det med beretninger om de mange personligheder Ørsted traf på sine rejser. Vi møder naturforskere som Carl Friedrich Gauss, Johann Wilhelm Ritter, Johann Wolfgang Goethe, André-Marie Ampère, Jean Baptiste Biot, Jacques Alexandre Charles, Joseph Louis Gay-Lussac, Claude Louis Berthollet, Jean Baptiste Fourier, John Herschel, Charles Babbage, Humphry Davy, og Michael Faraday; filosofferne F. W. J. Schelling og Johann Gottlieb Fichte; forfatterbrødrene August Wilhelm og Friedrich Schlegel og teologen Friedrich Schleiermacher, udenlandsdanskere som Henrik Steffens og P. A. Heiberg samt diverse rejseledsagere.

På grund af Ørsteds brede interesser og alsidige virke giver brevene også indblik i hvad der rørte sig indenfor kunsten og litteraturen. Derudover beretter brevene om de hjemlige forhold ved Københavns Universitet og pennefejder mellem Ørsted-brødrene og lokale koryfæer som J. F. S. Grundtvig. Naturligvis giver brevene også informationer om Ørsteds familiemæssige forhold, og de giver ikke mindst et solidt indtryk af manden Ørsted, hans overbevisninger og værdier og de

valg han traf i sit liv. Senest har Dan Charly Christensen gjort flittigt brug af Ørsteds rejsebreve i sin meget levende skildring af Ørsted og hans tid.

Brevene er inddelt i 8 kapitler efter hvilken rejse Ørsted var på. Først og fremmest er der brevene fra hans 2 1/2 år lange dannelsesrejse gennem de tyske stater, Frankrig, Belgien og Holland, som han foretog i sin pure ungdom i årene 1801-1803. I perioden 1812-1813, nu som professor ved Københavns Universitet, rejste han atter til Tyskland og Frankrig. På denne rejse udgav han sin bog *Ansicht der chemischen Naturgesetze*. Naturligvis er der også breve fra hans triumftog rundt i Europa i årene 1822-1823 efter hans epokegørende opdagelse af elektromagnetismen i 1820. De senere rejser gik bl.a. til deltagelse i tyske, britiske og skandinaviske naturforsker møder.

Dagbrogsbrevene er en uvurdelig historisk kilde, fordi de er skrevet på stedet i et umiddelbart sprog i modsætning til f.eks. de efterrationaliserede erindringer i Ørsteds selvbiografi fra 1928. Ørsted har formentlig selv været klar over brevenes historiske værdi, og det samme har hans datter Mathilde, der udgav brevene, om end i en censureret version, allerede i 1870. Brevene er stilet til familiemedlemmer og nære venner såsom Ørsteds mentor i de tidlige år, apotekeren Johan Ludvig Manthey, Ørsteds tidlige forlovede Sophie Probsthein (referencer til hende er udeladt i Mathildes udgave af brevene), broderen og statsmanden Anders Sandøe Ørsted og dennes hustru (søster til Adam Oehlenschläger), Sophie Ørsted; og senere Ørsteds hustru Inger Birgitte, født Ballum, og kaldet Gitte.

Jelved og Jacksons komplette genudgivelse af brevene er en stor service til videnskabshistoriske forskere, der nu ikke længere behøver at kæmpe med Ørsteds svært tilgængelige gotiske håndskrift. Oversættelsen til engelsk vil bidrage til at øge Ørsteds synlighed i den internationale videnskabshistoriske forskning. Kvaliteten i Jelved og Jacksons oversættelse ligger bl.a. i, at de sætter en ære i at være yderst tro mod Ørsteds særegne vokabular og literære stil på både engelsk og dansk. De to bind er forsynede med et ret omfattende navneregister, der har krævet et møjsommeligt detektivarbejde, og som øger bindenes værdi betragteligt i forskningsmæssig sammenhæng. Brevene vil fremover uden tvivl blive flittigt konsulteret af historikere, der skriver om den pågældende periode.

Anja Skaar Jacobsen

Ny Rømer-forskning

Redigeret af: Karin Tybjerg, Jakob Danneskiold-Samsøe og Per Friedrichsen, "Ole Rømer – I kongens og videnskabens tjeneste", Aarhus Universitetsforlag 2011, 392 sider, 349,95 kr., <http://www.unipress.dk>.

Ole Rømer



I kongens og videnskabens tjeneste

Aarhus Universitetsforlag

Den danske astronom og ingeniør Ole Rømer (1644-1710) blev verdensberømt på grund af sin bestemmelse af lysets hastighed og han var en af den danske konges højt betroede embedsmænd. I Paris udarbejdede han fontænesystemet ved Versailles og underviste tronarvingen. Imponerende bedrift af en skippersøn fra Aarhus.

Denne bog kan godt ses som en markering af 300-året for Rømers død. Men den er først og fremmest et bevis for den levende danske og udenlandske Rømer-forskning som pågår i disse år. I 2001 udkom Rømers korrespondance og afhandlinger, og bl.a. motiveret heraf, udkom i 2004 en artikelsamling, der belyste mange mindre kendte sider af Rømer. Men det sidste ord er ikke sagt om Rømer – tværtimod.

I denne bog fortæller 18 danske og udenlandske Rømer-forskere om flere af de kendte og ukendte sider af Rømers virke, om hans ophold i Paris, hans betydningsfulde rejse til London samt hans biografiske baggrund. Vi hører også om Rømers videnskabelige kolleger, f.eks. Cassini og Huygens, og om hans videnskabelige observationer og instrumenter.

Helge Kragh indleder med en oversigt over Rømers videnskabelige betydning og bogens øvrige bidrag. Disse falder i fire kategorier: 1) Baggrund og studieår 2) Årene i Paris og Ole Rømers instrumenter 3) Ole Rømers administrative erhverv under den danske enevælde i København og 4) Ole Rømers tredøgnsobservationer og meridiankredsen.

For astronomiinteresserede kan fremhæves artiklen af astronom Claus Fabricius, der har foretaget en moderne dataanalyse af Rømers mest vellykkede observationer – Triduum. De blev foretaget over tre døgn med den meridiankreds, som han havde udviklet til præcise positionsmålinger. Her afdækkes instrumentets systematiske fejl, som hidtil ikke er beskrevet så detaljeret.

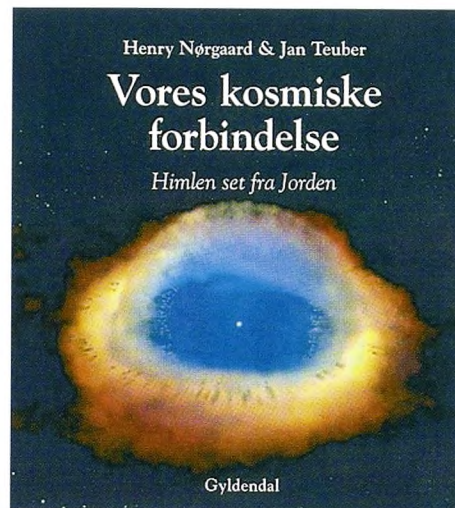
Der er noget for enhver smag – fra personalehistorie, offentlige embeder og videnskabshistorie. Selv

om bogen består af en række meget forskelligartede forskningsbidrag, kan den bestemt også have almene læsers interesse. Den gamle Hr. Rømer har jo mange nutidige fans og der er substans for pengene, hvis man køber denne bog.

Michael Cramer Andersen

Astronomisk billedkunst i særklasse

Af: Henry Nørgaard og Jan Teuber, "Vores kosmiske forbindelse – Himlen set fra Jorden", 2. udgave, Gyldendal 2012, 169 sider, 249,95 kr., <http://www.gyldendal.dk>.



Gennem fantastiske og farverige astronomiske fotos med opdagelser af fjerne himmellegemer føres læseren på en rejse længere og længere ud i verdensrummet.

Bogen indledes med et kort historisk kapitel og viser, hvordan astronomien har ændret vores verdensbillede. Herefter begynder rejsen ud i rummet – først med Solen og vores egen måne og herefter forbi naboplaneterne, asteoriderne, de store gasplaneter og deres talrige og mærkværdige måner. Rejsen fortsætter ud gennem Mælkevejen og forbi stjernehober, tåger, stjerner, der bliver født, og stjerner, der dør. Til sidst forlader vi vores egen galakse og passerer forbi talrige andre galakser og galaksehobe, hvor afstandene når op på millioner af lysår. Rejsen ender ved sporene af Universets begyndelse – The Big Bang. Til sidst er der et kapitel om astronomernes værktøjer i dag med observatorier både over og under jordoverfladen samt ude i rummet, samt et kort afsnit om Universets struktur og udvikling.

Bogen demonstrerer astronomisk billedkunst i særklasse. De smukke billeder forklares i letforståelige tekster og fakta om billedet oplyses, f.eks.: navn, type, afstand, position (stjernebillede) og opdagelsesår. Ganske vist kan man finde mange flotte billeder på internettet, men de kan stadig ikke konkurrere med oplevelsen af at sidde med en flot trykt bog i hånden, hvor nogle af de bedste og nyeste billeder er samlet i en udgivelse.

Jens Olaf Pepke Pedersen og
Michael Cramer Andersen

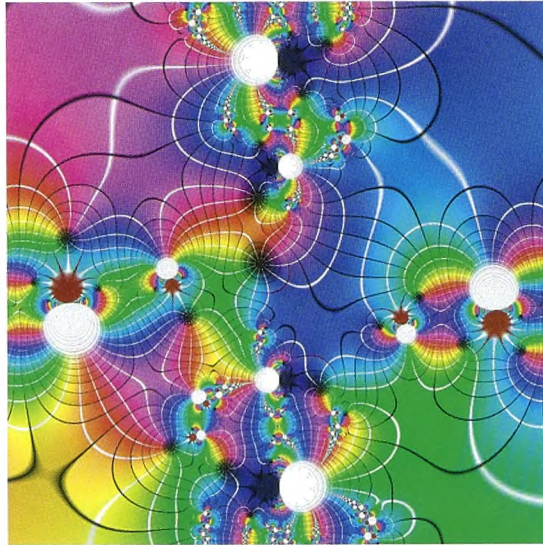
Forskernes smukke billeder

Kvant samarbejder bl.a. med Videnskab.dk om at bringe nyheder indenfor naturvidenskab og denne nyhed [1] må absolut være passende til bagsiden af Kvant.

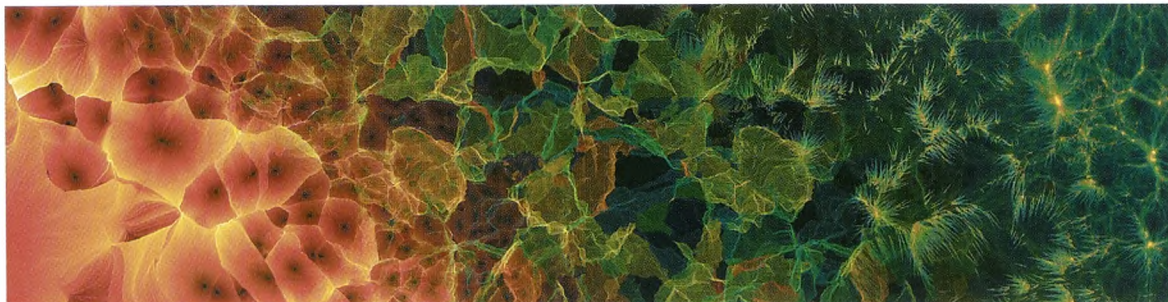
Siden 2003 har tidsskriftet Science og statsorganet National Science Foundation afholdt en prestigefyldt konkurrence hvor forskere belønnes for deres evne til at omdanne tørre data, fakta og forskningsresultater til værker i form af simuleringer, fotografier, grafik, spil eller videoer. Der deltog i alt 212 forskere fra 33 lande i årets konkurrence. Årets vindere findes i [2], hvorfra vi viser tre eksempler på vindere af konkurrencen.



Figur 1. I kategorien, "Bedste Foto", vandt dette billede som ligner et ørkenlandskab med røde klipper, men i virkeligheden forestiller nanostrukturer, der er lavet af ultratynde lag af titaniumbaserede stoffer. Lagene er så tynde, at de er 2-dimensionale, og ifølge forskerne er de velegnede til at lagre energi, som sensorer og solceller. Fotoet er taget igennem et elektronmikroskop.



Figur 2. Denne illustration viser en kompleks matematisk domænefunktion og fik "Honorable Mention" af juryen. For at skabe denne visualisering, har forskere ved Freie Universität i Berlin tildelt hvert komplekse tal i deres ligning til et punkt på et farvehjul. Jo mere tallet afviger fra nul, jo lysere er farven (de hvide områder går imod uendelig).



Figur 3. Det kosmiske Netværk vandt i kategorien "Informative plakater og grafik" og viser hvordan dannelsen af galakser og galaksehobe vokser ud af det underliggende men usynlige mørke stof i løbet af Universets 13,7 milliarder lange levetid. Forskere fra Johns Hopkins University i USA har skabt Det kosmiske Netværk ved hjælp af avancerede computersimuleringer. Se også et udsnit af billedet på forsiden af bladet.