

KVANT November 3 2004

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 15. årgang



TEMANUMMER – ASTRONOMI OG ASTROBIOLOGI

TITAN – EN REJSE TILBAGE TIL JORDENS FORTID – SNU OG UNF JUBILÆUM

ER SOLSYSTEMET ALMINDELIGT BLANDT SOLSYSTEMER? – TÆT PÅ NANOTECH

ER ASTEROIDER EN TRUSSEL MOD JORDEN? – HVORDAN VIRKER TYNGDEKRAFTEN?

LØSSALGSPRIS: 40 KR

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

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

Udgives af

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

Redaktion

Michael Cramer Andersen (ansv. red.)
Ordrup Gymnasium
Camilla Bacher (AS)
Mærsk Olie & Gas
Jørgen Friis Bak, Aarhus Universitet
Jørn Johs. Christiansen (SNU)
Henrik Flyvbjerg, RISØ
Torsten Freltoft, Sophion Bioscience A/S
Mogens Esrom Larsen,
Matematisk Institut, KU
Jens Olaf Pepke Pedersen,
Dansk Rumforskningsinstitut
Finn Berg Rasmussen, Ørsted Lab, KU
Svend E. Rugh

Abonnementspris: 150 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: 3000 kr, 1/2 side: 1600 kr
1/4 side: 1000 kr, Farvetillæg: 1800 kr
Priserne er excl. moms og for reproklart materiale. Henvendelser om annoncer til redaktøren, tlf. 22 67 26 42.

Oplag: 3000. Tryk: P.J. Schmidt A/S,
Vojens. ISSN 0905-8893



Produktionsplan

Nr. 4-04 udkommer ca. 15. december
Nr. 1-05 udkommer ca. 15. februar
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Titan – en rejse tilbage til Jordens fortid <i>Jens Olaf Pepke Pedersen</i>	3
Er Solsystemet almindeligt blandt solsystemer? <i>Uffe Gråe Jørgensen</i>	8
Nyt fra Astronomisk Selskab	15
Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse	16
Et dobbelt jubilæum – SNU 180 år og UNF 60 år <i>Michael Cramer Andersen og Johnny Hartvig Olsen</i>	17
Er asteroider en trussel mod Jorden? <i>René Michelsen</i>	19
KVANT-nyheder <i>Michael Cramer Andersen</i>	23
Aktuelle bøger <i>Christine Pepke Pedersen og Michael Cramer Andersen</i>	26
Astrobiologi-bøger og links <i>Michael Cramer Andersen</i>	28
Opgave-hjørnet <i>Jens Højgaard Jensen</i>	31
Hvordan virker tyngdekraften?	32
Astronomi og Astrobiologi <i>David Field</i>	33
Tæt på nanotech <i>Rune Thode Nielsen</i>	Bagsiden

Billedet på forsiden viser Hestehovedtågen, Barnard 33, i Orion-komplekset. Støvkorn skygger for stjernefeltet bagved. Orion Molekylskyen, der er en del af Orion-tågen, ligger tæt ved på himlen og i tilsvarende afstand fra Jorden. Billedet er taget med det Europæiske Sydobservatoriums Very Large Telescope. Læs mere om stjernedannelse, planeter og biomolekyler i artiklen af David Field på side 33.

TEMANUMMER OM ASTROBIOLOGI

I dette nummer af Kvant har vi taget emnet "astrobiologi" op. Vi præsenterer emner som beskæftiger forskere fra fysikmiljøerne på Aarhus Universitet, Københavns Universitet og Dansk Rumforskningsinstitut. Det handler ultimativt om at søge svar på det store spørgsmål: Er liv almindeligt i Universet eller er det unikt? Men først skal betingelserne for at liv kan opstå undersøges og her må mange fagdiscipliner komme med hver deres bidrag til gådens løsning. Astronomerne har i det seneste årti opdaget mere end hundrede planeter udenfor vores Solsystem – disse kaldes *exoplaneter*. Se artiklen af Uffe Gråe Jørgensen side 8. Men der er meget langt fra at erkende en fjern planet til at finde eventuelt liv derude.

Med dette nummer af KVANT, overtager Michael Cramer Andersen redaktørposten efter Jens Olaf Pepke Pedersen, der stadig bliver i redaktionen, men har valgt at stoppe som redaktør efter seks år.

Bestilling af klassesæt eller ekstra eksemplarer af dette nummer (25 kr. / stk. plus forsendelse) kan ske på kvant@kvant.dk så længe lager haves.

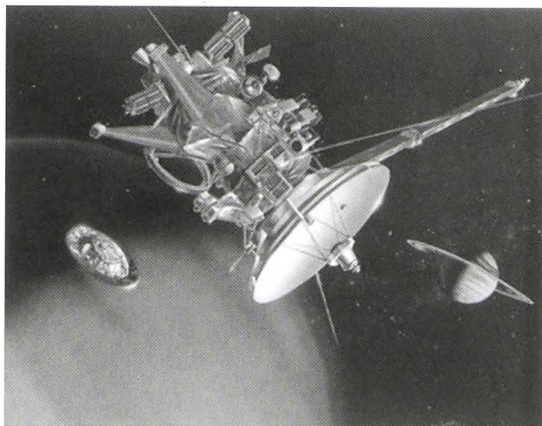
Titan – en rejse tilbage til Jordens fortid

Jens Olaf Pepke Pedersen, Dansk Rumforskningsinstitut.

En rejse på 3 milliarder km

Efter at have tilbagelagt mere end 3 milliarder km og næsten syv år efter opsendelsen gik rumskibet Cassini den 1. juli i år i kredsløb om Saturn. I de næste fire år vil Cassini foretage 75 kredsløb omkring Saturn for at studere planetens atmosfære, ringsystemet og Saturns talrige måner. Forventningerne til missionen er store, og allerede på billeder taget inden ankomsten til ringplanet har man opdaget nye objekter omkring Saturn. Der er således fundet en ny ring, der er ca. 300 km bred og ligger i en afstand af 138.000 km fra Saturn, og man har fundet en lille genstand, som måske er endnu en måne – i givet fald vil den bringe antallet af måner omkring Saturn op på 34.

Den største af månerne, Titan, tiltrækker sig særlig opmærksomhed og er målet for en sonde, som Cassini medbringer. Sonden, som er opkaldt efter den hollandske astronom Cristiaan Huygens, der opdagede Titan i 1655, medbringer en række instrumenter, som bl.a. kan analysere atmosfærens sammensætning, tryk, temperatur, ledningsevne og vindhastighed.



Figur 1. Tegning af Cassini-rumskibet som netop har frigjort Huygens-sonden på vej mod Titan.

Huygens-sonden har ingen styreraketter, og derfor styres Cassini senere på året ind på en kollisionskurs mod Titan. Julenat vil Huygens blive frigjort fra Cassini (se figur 1), som tre dage senere styrer væk fra kollisionskursen og placerer sig i en bane, hvorfra den kan transmittere sondens data tilbage til Jorden.

Hvis alt går vel vil Huygens tre uger senere – den 14. januar 2005 – ankomme til Titan. Med en hastighed på 6 km/s vil den i en højde af ca. 600 km trænge ind i atmosfæren og begynde sin nedbremsning, mens den beskyttes af et varmeskjold. I dette tidsrum vil kun et enkelt instrument (Huygens Atmospheric Structure Instrument) være i funktion.

Besøg på Titan med Cassini

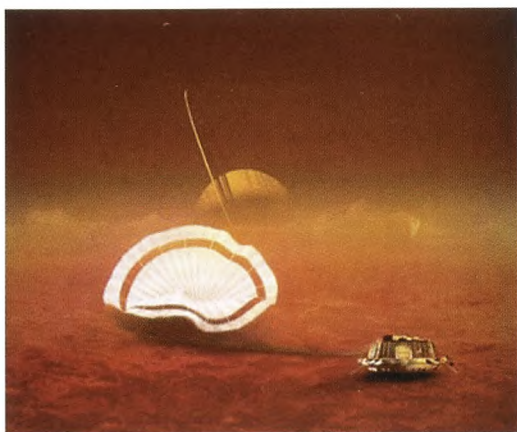
Cassini-rumskibet er opkaldt efter den italienske astronom Giovanni Cassini, som i 1676 opdagede det store gab i Saturns ringe (og som nu hedder Cassini gabet). Rumskibet er ca. 7 m langt og 4 m i diameter og vejer over 2 ton. Det medbringer 12 instrumenter, bl.a. spektrometre, en radar og kameraer. Huygens-sonden vejer 319 kg, er 2,5 m i diameter og har seks instrumenter om bord, bl.a. for at kunne måle atmosfærens sammensætning, tryk, temperatur, vindhastighed og -retning. Positionen for landingen kan fastlægges ganske præcist for breddegraden, men ikke for længdegraden, da de fremherskende vindforhold på Titan ikke er kendt. Landingen sker på ca. 10° sydlig bredde og ca. 160° østlig længde.

I en højde af ca. 180 km vil hastigheden være nede på 400 m/s (Mach 1,5) og en lille faldskærm bliver udløst, som bremser farten yderligere til omkring 100 m/s. To minutter senere og 10 km længere nede udløses hovedfaldskærmen og 30 sekunder senere udkastes deflektorskjoldet. Herefter svæver sonden fra en højde af ca. 170 km ned mod overfladen og de øvrige af sondens instrumenter begynder at sende deres data til Cassini. Huygens kamera vil således tage over 1.100 billeder under nedstigningen. Efter godt et kvarter og ca. 100 km over overfladen frigøres hovedfaldskærmen og en mindre bremsefaldskærm bærer sonden resten af vejen (figur 2).



Figur 2. Tegning af Huygens-sonden på vej ned gennem Titans atmosfære.

I alt forventes nedstigningstiden at vare 2 timer og 30 minutter, hvorefter sonden med en hastighed på 5–6 m/s vil kollideres med Titans overflade. Hvis instrumenterne overlever, har sondens batterier energi til yderligere nogle minutters målinger på overfladen (afhængigt af, hvor lang tid nedstigningen har taget). Et accelerometer vil f.eks. kunne fortælle, om sonden er landet i en sø (hvis sonden bevæger sig op og ned), og andre instrumenter vil kunne analysere sammensætningen af omgivelserne (figur 3).



Figur 3. Tegning af Huygens-sondens landing på Titans overflade.

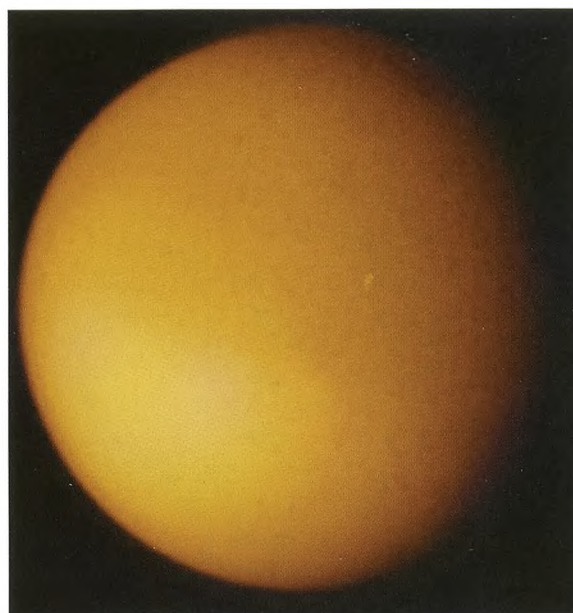
Omgivelserne på Titans overflade er meget kolde, ca. -178°C , hvilket er en af årsagerne til at batterierne ikke forventes at fungere mere end ca. 2,5 timer under de barske forhold. Da sonden bruger Cassini for at sende data tilbage til Jorden, kan den desuden kun kommunikere så længe Cassini kan ses fra Huygens på Titans overflade, så når Cassini flere måneder senere kommer forbi Titan igen, er alle sondens systemer ude af drift.

Tidligere forbiflyvninger

I 1979 nåede Pioneer 11 rumskibet til Saturn og året efter kom Voyager 1 forbi. Studiet af Titan var et af hovedmålene for Voyager 1, og den passerende i en afstand af kun 4.000 km fra overfladen (Voyager 2 passerende i 1981 i en afstand af 665.000 km). Til forskernes skuffelse viste alle billederne af Titan et tæt orange skydække, som helt dækkede overfladen (figur 4). Nogle af billederne viste dog et højtliggende skydække ovenover det orange lag (figur 5).

Titan er 5.150 km i diameter og i kredsløb ca. 1,2 mio. km fra Saturn. Titan er den eneste måne i Solsystemet som har en betydelig atmosfære og den øverste del er dækket af en tyk tåge, måske svarende til den smog, man finder over forurenede storbyer.

Titan har en rotationsperiode på 16 dage og vender altid den samme side mod Saturn. Densiteten er 1,88 og det betyder, at den samlede masse kun er 1/45 af Jordens.



Figur 4. Titan fotograferet fra Voyager. Hele overfladen er dækket af tætte orange skyer.



Figur 5. Nærbillede af Titans atmosfære, som viser et skydække ovenover den orange tåge (Voyager 1).

Livets begyndelse på Jorden

Hvorfor rejser vi så langt væk for at se nærmere på lige netop Titan? Det overraskende svar er, at vi bl.a. ønsker at lære noget om os selv. Mysteriet om livets opståen på Jorden bliver måske aldrig løst, hvis vi begrænser os til at studere vores egen planet!

Det ser ud til, at livet opstod på Jorden på et tidspunkt, der ligger mellem 4,1 og 3,9 milliarder år tilbage i tiden. Da Jorden er mellem 4,5 og 4,6 mia. år gammel, betyder det, at der var liv "allerede" efter 400–700 millioner år. I de første hundreder af millioner af år blev Jorden sandsynligvis udsat for et konstant bombardement af kometer og asteroider, som afsatte så stor

energi på overfladen, at temperaturen har været høj nok til at smelte sten på overfladen. Der kan derfor ikke have været flydende vand på overfladen, og der har ikke været store chancer for at liv kunne dannes eller overleve på overfladen. Nogle astronomer mener, at det meste af det vand, der udgør Jordens oceaner i dag er kommet med kometerne, men i så fald er vandet straks fordampet og først efter nogle hundrede millioner år er overfladetemperaturen faldet så meget, at flydende vand kunne begynde at samle sig i søer og siden i oceaner.

Hvis teorierne om Jordens tidligste periode er rigtige, så har livet derfor udviklet sig – eller er kommet til Jorden – meget hurtigt efter, at forholdene tillod liv. Måske er livet endda opstået i flere omgange, eftersom sammenstød med meget store kometer kan have afsat så megen energi, at oceanerne er blevet helt steriliserede. Det tyder på, at simple livsformer dukker op, næsten lige så snart forholdene tillader det. Til gengæld kan vi også konkludere, at det har taget milliarder af år, før mere komplekse livsformer har udviklet sig på Jorden, og det har krævet, at klimaet har holdt sig stabilt i en tilsvarende periode. Ganske vist har der undervejs været voldsomme begivenheder, som har udslettet en stor del af de daværende livsformer, men det har ikke forhindret at stadigt mere komplekse livsformer har udviklet sig. Tværtimod ser det ud til, at udviklingen er gået meget hurtigt efter de store glaciationer.

Det er fortsat noget af et mysterium, hvad det er for mekanismer i klimaet, der stabiliserer over så lange tidsskalaer. F.eks. lyser Solen i dag 30 % kraftigere end ved Jordens dannelse, og alligevel har klimaet undervejs indrettet sig således, at vi hele tiden har haft et ocean med flydende vand, og det gør måske Jorden til et ganske usædvanligt sted i Universet. Så selvom det skulle vise sig, at livet opstår så snart forholdene er gunstige, så har det – i hvert fald på Jorden – krævet meget langvarige stabile forhold at udvikle komplekse livsformer. Det tyder på, at højere livsformer er et sjældent fænomen, så selv om vi ikke længere ser os selv som Universets centrum, er vi måske alligevel ret usædvanlige i Universet.

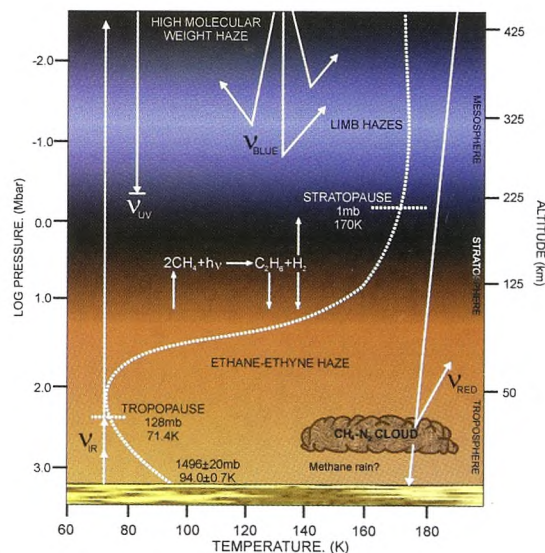
Undersøgelser af gamle sedimenter antyder, at oceanerne var dannet for ca. 3,9 mia. år siden, men det er meget lidt, vi ved om Jordens meget tidlige periode. F.eks. ved vi ikke, hvordan Jordens tidlige atmosfære så ud, da de første kemiske processer udviklede livet på Jorden. Men tænk nu, hvis vi kunne rejse tilbage til Jorden, som den så ud før livet opstod, og studere de kemiske processer som førte til dannelsen af byggestenene til livet.

Titan og dens atmosfære

Rejsen til Titan repræsenterer netop en sådan tidsrejse tilbage i Jordens udviklingshistorie, fordi Titan bogstavelig talt har ligget i en dybfryser siden dannelsen. På grund af den store afstand til Solen foregår de kemiske processer i Titans atmosfære meget lang-

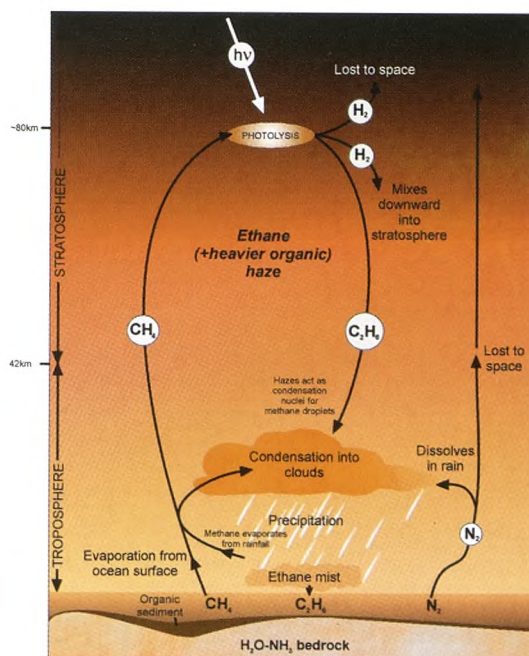
sommere end på Jorden, og de lave temperaturer er også årsagen til, at Titan, der med en diameter på 5.150 km kun er halvt så stor som Jorden, ikke for længst har mistet sin atmosfære.

Titans atmosfære består ligesom Jordens hovedsageligt af kvælstof (ca. 77-85%, se tabel 1) mens overfladetrykket er 1,5 gange større. På grund af Titans meget mindre masse betyder det, at der er væsentlig mere atmosfære, men temperaturprofilen i atmosfæren minder meget om Jordens (figur 6).



Figur 6. Nogle af forholdene i Titans atmosfære.

Som nævnt ovenfor er overfladetemperaturen ca. -178°C , hvorefter temperaturen falder med højden til ca. -200°C i toppen af troposfæren. Herefter stiger temperaturen igen og når op på -100°C i den øverste del af stratosfæren.



Figur 7. Metan-kredsløbet i Titans atmosfære.

Takket være billeder og data, som Voyager missionerne har sendt tilbage ved vi, at den øverste del (figur 2 og 3) af Titans atmosfære består af tykke orange skyer, som helt dækker overfladen, samt at atmosfæren indeholder nogle få procent metan.

Molekyle/gas	Hyppeghed
N ₂	77–85%
Ar	~12–17%
CH ₄	~3–6%
H ₂	0,1–0,4%
C ₂ H ₆	20 ppm
C ₃ H ₈	5–20 ppm
CO	10 ppm
C ₂ H ₂	2 ppm
C ₂ H ₄	0,4 ppm
HCN	0,2 ppm
C ₄ H ₂	0,03 ppm
C ₃ H ₄	0,03 ppm
HC ₃ N	0,01–0,1 ppm
C ₂ N ₂	0,01–0,1 ppm
CO ₂	0,01 ppm

Tabel 1. S sammensætningen af Titans atmosfære på grundlag af Voyagers målinger (ppm betyder millionte dele).

I Jordens atmosfære udgør fordampning og kondensation af vanddamp et vigtigt kredsløb for f.eks. energitransporten fra ækvator til polerne. Vands tripelpunkt (den temperatur, hvor is, vand og vanddamp er i ligevægt) er ca. 0°C ved 1000 mbar. Ved 1600 mbar er metans tripelpunkt ca. -182° C, hvilket svarer til temperaturerne i den nederste del af Titans atmosfære, ligesom temperaturfaldet i denne del af atmosfæren svarer til en våd-adiabat for en kvælstofatmosfære mættet med metan. Således er der gode argumenter for, at metan har samme rolle i Titans atmosfære som vandkredsløbet har i Jordens atmosfære, og at vi i Titans atmosfære derfor har metan-skyer, der giver metan-regn (figur 7). Måske er der også store metan-søer på overfladen (eftersom radarmålinger har vist, at en stor del af overfladen må være fast, er der næppe metan-oceaner). Hubble teleskopet har imidlertid set strukturer på overfladen, som tyder på, at der er en kombination af frosne kontinenter og store kulbrintesøer.

Atmosfærens blanding af metan og kvælstof tilføres energi i form af ultraviolet stråling fra Solen, energirige elektroner fra Saturns magnetosfære samt fra kosmiske stråler. Det bryder de molekulære bindinger i metan og kvælstof, hvorefter fragmenterne recombinerer og producerer nye komponenter. Der er således fundet en række simple kulbrinter i atmosfæren, og man må antage, at den orange tåge i atmosfæren består af polymerer, som er opbygget af simple molekyler som f.eks. hydrogencyanid (HCN) og acetylen.

Vand – også på Titan

På grund af de lave temperaturer er der ikke flydende vand (bortset fra kortvarige smeltninger efter kometnedslag eller vulkanudbrud), og det har forhindret, at der har udviklet sig liv, som vi kender det på Jorden, på Titan. I 1997 observerede ESA's ISO (Infrared Space Observatory) satellit imidlertid to emmis-

sionslinier ved ca. 40 µm, som skyldes vanddamp, så der er små mængder vanddamp i atmosfæren, og måske dækker is en stor del af overfladen.

Vandet kommer formodentlig fra ispartikler fra Saturns ringe og andre måner. I atmosfæren vil vandet reagere med kulbrinter og producere CO og CO₂, men der er ikke tilstrækkelige vandmængder til at producere så meget ilt, at Titans atmosfære vil blive oxiderende. Ilt var heller ikke tilstede i Jordens tidlige atmosfære – det er et resultat af fremkomsten af bakterier, der producerede ilt (og de forårsagede i øvrigt en tidlig miljøkatastrofe på Jorden, idet ilten fortrængte de anaerobe bakterier fra store dele af oceanerne). Fraværet af ilt har formodentlig været en fordel for livets opståen, fordi det er svært at simulere den "præbiologiske" kemi i en atmosfære, der indeholder fri ilt.

Carl Sagan (og mange andre) har forsøgt at reproducere atmosfærekemien på Titan i simple laboratorieforsøg, hvor man f.eks. har foretaget elektriske udladninger i en kvælstof/metan-blanding. En blanding bestående af ni dele kvælstof og en del metan har vist sig optimal, og man har identificeret over 150 forskellige reaktionsprodukter, bl.a. en lang række komplekse kulbrinter og f.eks. HCN, som er en bestanddel af de aminosyrer, der er byggestenen i udviklingen af liv.

En ting er imidlertid at få dannet byggestenene til liv. Noget helt andet er at få dem hægtet sammen til de biologisk aktive molekyler, som karakteriserer liv. DNA ser nemlig ikke ud til at opstå spontant i en glaskolbe med forskellige kemikalier. Problemet er, hvordan man får dannet proteiner. Man har nemlig brug for proteiner til at danne de molekyler, hvis funktion netop er at samle nye proteiner.

Foruden DNA findes der imidlertid en anden gruppe nukleinsyrer, som forkortes RNA, og som i biologiske funktioner optræder som enkeltstreng. Det er muligt, at de første organismer kunne klare sig med RNA alene, og at RNA både kunne fungere som arvemasse og ved fremstilling af proteiner. Man taler ligefrem om en RNA-verden som forløber for en DNA-verden. Det ændrer dog blot problemet til at forklare, hvordan det første RNA blev produceret i en ikke-biologisk proces. Det er ikke lykkedes i laboratorieforsøg, men man har demonstreret, at to af byggestenene (baserne) i RNA, nemlig uracil og cytosine, kan fremstilles under betingelser, der ligner forholdene på Jorden for 4 mia. år siden. Måske har RNA haft en primitiv forgænger, som kunne reproducere sig selv og katalysere reaktioner, og måske har der været flere tilløb til liv, og kun ét af dem udviklede sig til den DNA-styrede verden, der bestemmer liv, som vi kender det. Teorierne bygger imidlertid alle på de reaktioner, vi finder i levende celler, og det er sparsomt, hvad vi har af geologiske spor efter de tidlige livsprocesser. På Titan er det derimod muligt, at de samme reaktioner foregår i dag, som foregik i Jordens tidligste historie og måske ligger reaktionsprodukterne nu akkumuleret i tykke sedimenter på Titans overflade.

Hvad vi ikke får at vide

Voyager missionerne indsamlede en række data fra Titan som stadig - mere end 20 år senere - fortsat bliver analyseret og offentliggjort i videnskabelige artikler. De kommende datamængder fra Cassini og Huygens instrumenterne vil være langt større og vil kunne beskæftige forskerne i mange årtier fremover. Men selv efter Cassini/Huygens missionen vil der være mange spørgsmål, vi ikke kan besvare om Titan. Sonden kan f.eks. ikke foretage boreprøver i Titans overflade eller sende prøver tilbage til Jorden. Men inspireret af aktiviteterne på Mars er det da ikke utænkeligt, at vi på et tidspunkt vil få et rumskib i kredsløb om Titan, en landing på Titan eller endda en Titan-rover. NASA prioriterer for tiden ikke nye missioner til Saturn, men man er netop begyndt på forberedelserne til en meget ambitiøs mission til Jupiter – The Jupiter Icy Moon Orbiter. Dette rumskib har en atomreaktor som energikilde, hvilket vil give langt større muligheder for at tage instrumenter med ombord. I givet fald bliver rumskibet opsendt engang i det næste årti for efter ankomsten at gå i kredsløb om tre af Jupiters ismåner – Callisto, Ganymedes og Europa. Disse tre måner er spændende, fordi de måske indeholder store oceaner under deres isdækkede overflader. Men der er sådan set ikke noget i vejen for, at rumskibet – eller måske et søsterskib –

sendes til Titan i stedet for ...

Mon ikke det er et godt gæt, at resultaterne fra Cassini/Huygens vil give anledning til så mange nye spørgsmål, at der vil være gode argumenter for endnu et besøg på Titan.

Referencer:

- [1] ESA's hjemmeside om Cassini/Huygens missionen: www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens/index.html
- [2] NASA's hjemmeside om Cassini/Huygens missionen: www.nasa.gov/mission_pages/cassini/main/index.html
- [3] Ralph Lorenz og Jacqueline Mitton (2002) "Lifting Titan's Veil: Exploring the Giant Moon of Saturn", Cambridge University Press.
- [4] David Harland (2002) "Mission to Saturn: Cassini and the Huygens Probe", Springer-Praxis.



Jens Olaf Pepke Pedersen er seniorforsker ved Dansk Rumforskningsinstitut og har tidligere udført laboratoriemålinger af reaktioner mellem kulbrinter under forhold svarende til Titans atmosfære. Dette projekt blev finansieret af NASA og udført på University of Colorado i Boulder.

TIDSKRIFTER & BOGSAMLINGER KØBES

Så som "Zeitschrift für Physik", "Annalen der Physik", "The Physical Review", ... også videnskabelige bogsamlinger samt kostbare enkeltbøger.

HERMAN H. J. LYNGE & SØN A/S
Internationalt Videnskabeligt Antikvariat siden 1821

Tlf.: 33155335 <http://www.lynge.com>



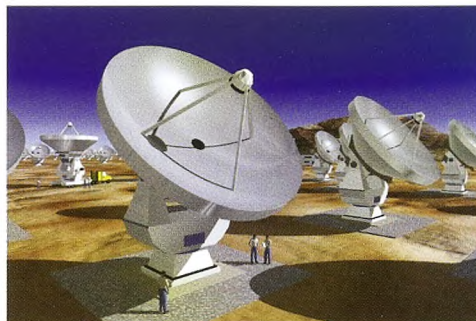
Er Solsystemet almindeligt blandt solsystemer?

Uffe Gråe Jørgensen, Niels Bohr Institutet fAFG, Københavns Universitet.

Indledning

Vi lever i et solsystem bygget efter universelle fysiske love og af de mest almindelige grundstoffer i Universet. Planeterne kredser om en ganske almindelig størrelse stjerne, af almindelig alder og af typisk sammensætning for dens alder. Der er af størrelsesordenen 100 milliarder stjerner i vores Mælkevej, hvoraf en stor del minder om Solen, og der er måske 100 milliarder mælkeveje i Universet. Intuitivt ville vi slutte at Universet huser et utal af solsystemer som vores, og sikkert også et utal kloder af Jordens slags – små faste himmellegemer der kan holde på en atmosfære og som har flydende vand ved overfladen. Hvis livet opstår spontant når de rette fysiske betingelser er til stede, vil vi endda fristes til at mene at livet er et udbredt fænomen i Universet.

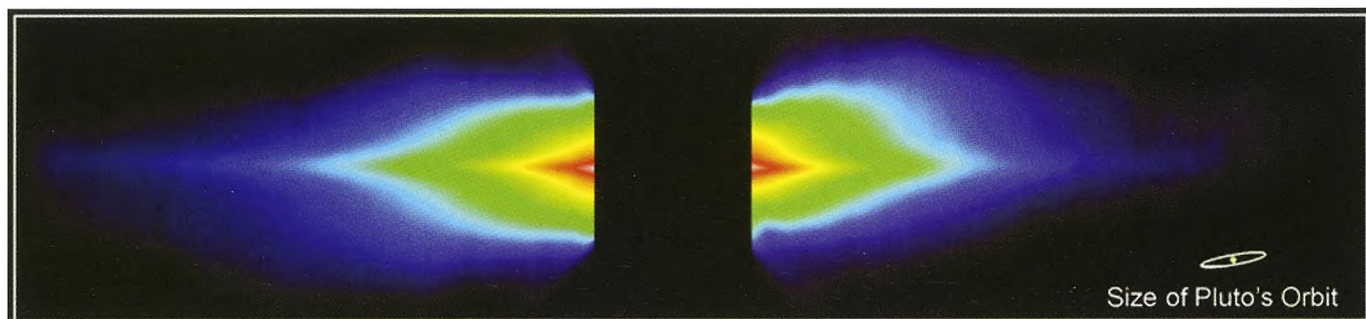
Faktum er imidlertid at vores teoretiske modeller for Solsystemets dannelse og udvikling *antager* at Solsystemet er almindeligt (– ikke viser det). Vi observerer nogle skyer om unge stjerner som vi tror er solsystemer under dannelse, skønt vi ved de oftest er langt større end vores solsystem og ingen af dagens instrumenter kan opløse dem i nogen form for brugbare detaljer. I 10 år har vi kendt til planeter omkredsende andre stjerner (kaldet exoplaneter eller ekstrasolare planeter), men ingen af dem ligner planeterne i vores solsystem (eller er bare i overensstemmelse med standardteorien for Solsystemets dannelse), og de eneste målinger der vil være istand til at identificere planeter som dem i vores eget solsystem har efter 10 års søgen kun været istand til at finde én. Betyder det at vi er meget mere alene i Mælkevejen end vi gerne vil tro, eller søger vi bare på den forkerte måde?



Figur 1. Det kæmpemæssige system af 65 sammenkoblede mikrobølgeteleskoper (ALMA) der er under opbygning i det nordlige Chile, forventes at ville give os de første detaljerede informationer om opbygningen af protostellare skyer – svarer de til standardmodellen for solnebulosen? – vil de ende som de exoplaneter vi kender, som Solsystemets planeter, eller som noget helt tredje?

Solsystemets dannelse: Standardmodellen

Det overordnede scenario for Solsystemets dannelse er et af de ældste endnu overlevende i moderne astronomi, med grundtræk der går helt tilbage til tanker af bl.a. Kant og Laplace: En stor, langsomt roterende, interstellar sky trækker sig sammen under sin egen tyngde. Balancen mellem tyngdekraften og centrifugalkraften tvinger skyen ud i en flad skive vinkelret på rotationsretningen. Det meste af skyens masse samler sig i centeret og bliver til Solen, mens planeterne og resten af Solsystemet formes af materiale fra den omkredsende skive. Idag udgør Solen ca 99,9% af Solsystemets samlede masse. Af de altså mindre end 0,1% af massen som ikke findes i Solen, findes 2/3 i Jupiter. Kun en forsvindende brøkdel af den samlede masse findes i kometer, asteroider, måner, og andre smålegemer. Dynamisk set kan vi med god tilnærmelse tænke på Solsystemet som bestående af bare Solen og Jupiter.



Figur 2. Det smukke β Pictoris system – i lang tid troede man, at det var et solsystem under dannelse. Støvskiven er imidlertid mere end 100 gange diameteren af vores eget planetsystem, og indeholder ikke mere end nogle få procent af Jordens masse.

Når vi nu vil beregne hvordan den protosolare sky har set ud, har vi ikke noget andet valg end at skele til hvad der blev ud af den. Vi kender kun resultatet af ét sammenfald – kun ét solsystem. Derfor tager man alle planeterne i vores solsystem og breder i tankerne den del af deres masse der ikke er brint og helium ud i en kontinuert skive. Grundstofferne tungere end brint og helium udgør ca. 1% af Solens masse (indtil for ganske nyligt troede man at Solen indeholdt 2% tunge grundstoffer, og det er givet vis et tal vi er blevet så vant til, at det vil hænge ved i årevis eller måske årtier, men det rigtige tal efter dagens bedste viden er altså 1%). Man ganger dernæst denne masse med 100 (eller 50 hvis man vil holde fast ved de forkerte 2% tunge grundstoffer i Solen), og har så et minimumsmål for hvor meget masse der har været i nebuloen¹, og endda fladethedens fordeling ud gennem skyen. Det er idag det bedste gæt på hvordan enhver protostellar sky har set ud, og danner grundlaget for de fleste modeller for dannelsen af ekstrasolare planetsystemer.

Indirekte beviser for protostellare skyer, så som ekstra infrarød stråling, indikerer, at mellem 50 og 100% af alle unge stjerner omgives af en protostellar skive. Det er primært den termiske stråling fra støvet man ser, og kun meget få målinger viser os gaskomponenten. Ved at gange den estimerede støvmasse med hundrede, tyder målingerne på at typiske protostellare skyer har masser mellem 0,001 og 0,1 solmasser. Med Hubble Rumteleskopet er det lykkedes direkte at fotografere adskillige protostellare skiver, der oftest ses som små sorte silhuetter mod lyset fra bagvedliggende stjerner. Ingen teleskoper kan imidlertid opløse disse systemer i brugbare detaljer, så vi ved meget lidt om deres natur.

I de kommende år og årtier vil nye generationer af astronomiske instrumenter tillade os at opløse billeder af disse nebuloer i detaljer der vil kunne fortælle os hvordan de er sammensat, hvordan tryk, temperatur og tæthed forløber ud gennem skyen, hvor støvdannelsen finder sted, og dermed hvor planetdannelsen foregår. Det er data der kan sammenlignes direkte med den viden vi i disse år indsamler om ekstrasolare planetsystemer. Tilsammen vil det tillade os at bygge modeller for rigtige repræsentative solsystemer under dannelse (altså uden antagelsen om at de skal ende med at komme til at ligne vores eget system), og sige noget kvalificeret om vores egen lille blå priks mulige almindelighed eller ualmindelighed.

Den del af den protosolare skive der er af gas opretholder en hvis tykkelse pga. hydrostatisk ligevægt. Partikler der er store i forhold til gasmolekylerne vil derimod falde ned gennem gasskyen i en accelererende bevægelse der er bestemt af ballancen mellem tyngdekraften mod planen og viskositeten. Støvkorn der enten har været en del af den oprindelige interstellare sky eller er kondenseret ud af gasskiven, vil derfor

koncentreres mod gasskivens plan. På vej ned gennem gasskiven vil støvkornene støde sammen med andre støvkorn og vokse i størrelse. Simple overslagsberegninger viser at typiske støvkorn der falder ned gennem standardmodellen for solnebulosen, vil vokse til mellem én og nogle få mm inden de når skivens plan – det kommende ekliptika. Her vil sammenstød få dem til at klumpe sammen til endnu større partikler.

Partikler som er store nok til at dekooble fra gassen, vil rotere hurtigere rundt om skyens massemidtunkt end gassen og småpartiklerne, fordi gassen vil opleve en lidt mindre effektiv tyngdekraft (den egentlige tyngde minus gastryksgradienten) og derfor rotere langsommere end den rene Kepler-bevægelse som de dekooblede legemer følger. Herved vil de større partikler feje gennem skyen, kolliderer med mindre partikler, og derved hastigt vokse i masse. Man kan vise at partiklerne ved denne process vokser til en bestemt størrelse der er bestemt af gassens tæthed, idet de kun kan feje småpartikler op indenfor en hvis afstand (den såkaldte Hill-radius). Ved de tætheder standardmodellen foreskriver i Jordens afstand, vil stoffet indenfor en tubus af en Hill-radius indeholde kondenserbart stof nok til at lave et legeme af ca. Månens størrelse. Da Jordens masse er ca. 100 gange Månens masse, må der altså på et tidligt tidspunkt have befundet sig mindst 100 Måne-masse himmellegemer – kaldet protoplaneter – i Jordbanens omegn. Disse legemer har nu gennem de næste millioner af år perturberet hinandens baner, således at de tilsidst alle er kollideret med hinanden og er blevet til Jorden. Målinger af radioaktive isotoper i Jordens overflade viser at disse kollisioner må have opbygget Jorden over en tidsskala på mellem 50 og 100 millioner år.

Standardmodellen har sin hovedstyrke i, at den kan forklare de fleste af de grundlæggende træk i vores nuværende solsystem. Den forklarer på en naturlig måde hvorfor alle planeterne roterer i samme retning og i samme plan, den forklarer hvorfor de indre planeter er små og faste mens de ydre er store og gasformige (se senere), den forklarer smålegemernes eksistens og placering (måner, kometer, asteroider og zodiakallys), og den forklarer hvorfor det meste af Solsystemets masse er i Solen. På den anden side har den problemer med tidsskalaerne for planetdannelsen, specielt de ydre, den har problemer med at få støvet til at klumpe sig sammen til protoplaneter inden det suges ind i Solen, og den har kvantitative problemer med at forklare hvor Solens impulsmoment er blevet af. Hvorvidt disse problemer betyder at modellen behøver justeringer og modifikationer eller den er fundamentalt forkert er naturligvis uvist. En af de mærkværdigheder der har undret astronomer i årevis, og har givet anledning til et utal af indbyrdes modstridende teorier, er hvorfor det meste af det materiale som de faste planeter er dannet af, tilsyneladende er

¹Den skive af gas og støv som planeterne blev dannet af, kaldes for *solnebulosen*, altså skyen der omgav Solen, men andre navne findes også.

samlet i form af små chokopvarmede og genstørknede millimeter-store glasagtige kugler, og ikke "bare støv".

Vands rolle for planetdannelsen

Vand spiller en helt central rolle for at forstå hvorfor de Jord-lignende indre planeter (Merkur, Venus, Jorden, og Mars) blev små og faste, mens de ydre planeter (Jupiter, Saturn, Uranus, og Neptun) blev kæmpemæssige gas-giganter uden en fast overflade. Vandet er dermed samtidig nøglen til at forstå hvorfor det var en overraskelse da man for 10 år siden begyndte at finde Jupiter-lignende exoplaneter i Merkur-lignende baner.

I James Jeans formulering af instabiliteten i en fritsvævende sky, er sammenfaldshastigheden en voksende funktion af gastætheden. Sammenstyrtningen er altså en indefra begyndende og udefter voksende proces. De indre dele vil hurtigst trække sig sammen og de ydre dele vil dernæst falde ind gennem den opståede skive. Dette er i overensstemmelse med observationer af de tidligste stjernedannelsesfaser, såkaldte FU Orionis stjerner, der har en meget lille protostjernekerne, og et stort masseindfald gennem en omgivende skive. Friktion mellem den eksisterende skive og det indfaldende stof vil opvarme skiven. Da indfaldet foregår over dynamiske (dvs. korte) tidsskalaer, er det en almindelig antagelse, at temperaturgradienten forårsaget af gnidningen kan beskrives ved en adiabat².

For Solsystemet skaleres adiabatens absolutte temperatur ud fra den observation, at meteoritter kommende fra den ydre del af asteroidebæltet er hydrerede (dvs. indeholder vand), mens meteoritter fra den indre del er dehydrerede. Dette fastlægger temperaturen på overgangen mellem den indre og den ydre del af asteroidebæltet til 170 K, og herved er den absolutte temperaturstruktur i protosolnebulosen fastlagt. Fra nebulosens indre til overgangen mellem den indre og ydre del af asteroidebæltet kan vand kun have eksisteret i gasfasen. Fra asteroideovergangen og ud til ca. Jupiters afstand kunne vand kondensere ud af nebulosen i form af hydrerede mineraler, og fra Jupiters afstand og udefter har vand kunnet kondensere direkte som sne og is. Vi kalder ofte den afstand hvor det var koldt nok til at vand kunne udkondensere direkte, for vandlinien eller med et mere dramatisk udtryk, snegrænsen. Da kometer består overvejende af is, må de være dannet udenfor vandlinien. Dynamiske overvejelser viser at der må have været mindst tusind milliarder kometer i det tidlige solsystem.

Vi forstår nu at de indre planeter må være dannet dehydrerede, mens den faste kerne af de ydre planeter må bestå af en kombination af refraktive stoffer (sten og metal) og flygtige elementer som vand-is. Da vand er det mest simple molekyle man kan konstruere af universets to mest hyppigt forekommende (ikke-ædelgas-) atomer (brint og ilt), vil den faste kerne af planeter dannet udenfor vandlinien, hurtigt vokse sig meget større

end planeter i den indre sne- og is-frie del af solnebulosen. Ved standardmodellens gastætheder vil den faste kerne af Jupiter hurtigt vokse sig så stor at den omkringliggende gas kolliderer ned på kernen. Da gasmassen i nebulosen er ca. 100 gange større end den kondenserbare masse, bliver Jupiter (og de andre ydre planeter) kæmpemæssige gasplaneter.

Bemærk at det er omdannelsen af potentiel energi gennem gnidning der bestemmer hvor vandlinien findes i en protostellar sky, og ikke lyset fra den dannende protostjerne. Pga. vores modelleringers skalering til vores eget Solsystem, har vi derfor a priori ingen bedre model end at antage, at vandlinien ligger samme sted for alle stjernetyper. I denne approksimation er vi i den paradoksale situation, at alle exoplaneter observeret til dato er i modstrid med vores forståelse af solsystemers dannelse. De er alle kæmpeplaneter der ligger indenfor vandlinien. Det er langt fra klart om det betyder, at Solsystemet og de kendte exoplaneter er dannet på to forskellige måder, eller om Solsystemet måske er dannet i halen af et parameterrum der gør det usædvanligt, eller om forskellen kun skyldes udvælgelseeffekter i observationsteknikkerne. Opdagelsen af exoplaneterne (og selvsagt også opdagelsen af vores eget Solsystem) er bundet til observationsteknikker der kun ville tillade opdagelsen af netop disse systemer.

Fra 1 til 10.000 kendte exoplaneter på 20 år

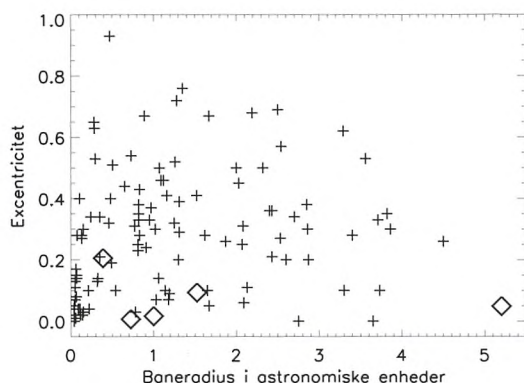
Vi kender idag ca. 125 planeter omkring 110 stjerner andre end Solen. På nær et par stykker er de alle opdaget ved hjælp af radialhastighedsmetoden: Stjernens bevægelse omkring stjernens og planetens fælles tyngdepunkt afsløres ved en periodisk ændring i stjernens radialhastighed, observeret som en periodisk forskydning af linierne i stjernens spektrum. Radialhastighedsmetoden planeter (der får stjernens banehastighed om det fælles tyngdepunkt til at blive stor) i små baner (der får stjernens radialhastighedsperiode til at blive kort, således at den kan karakteriseres indenfor rimelig tid). Det er derfor ingen overraskelse, at metoden kun har afsløret ekstremt store planeter (op til mere end 15 gange Jupiters masse) i ekstremt små baner (mange af dem mindre end nogen kendt heliocentrisk bane, inklusiv Merkurs). Det overraskende er, at sådanne planeter overhovedet findes.

Ca. 5% af de over 2000 sol-lignende stjerner i Solens omegn som man har studeret har vist sig at omkredses af disse "varme Jupiter-lignende planeter". Udover at være små, er banerne også bemærkelsesværdigt excentriske, med en fordelingsfunktion der meget ligner den man finder for lav-masse stjernekomponenten i dobbeltstjernesystemer, og meget forskellig fra de næsten helt cirkulære baner af planeterne i vores Solsystem. Det kan betyde, at exoplaneterne er et andet fænomen end planeterne i vores Solsystem, måske dannet ved fragmentering af den oprindelige sky, ligesom komponenten

²adiabatisk – en reversibel termodynamisk proces der optræder uden tab af varme og uden ændring af entropien.

terne i dobbeltstjerner. Eksistensen af et stort antal fritsvævende planeter i unge stjernehober tyder herpå, mens en massefordelingsfunktion meget forskellig fra den for stjerner taler imod.

En anden mulighed kunne være at de kendte exoplaneter er dannet ved direkte gravitationelt gaskollaps i den protostellare skive (f.eks. ved en perturbation i den protostellare sky ved passage af en anden stjerne, eller ved interne forstyrrelser i en mere massiv sky end solnebuloen), mens Solsystemets planeter er begyndt ved en støvkondensering som beskrevet ovenfor. Denne opfattelse støttes bl.a. af det faktum, at den eneste exoplanet man har kunnet bestemme massefylden af, viser en så lav massefylde at den formentlig (i modsætning til gasplaneterne i vores Solsystem) ikke har nogen fast indre kerne, men består udelukkende af gas. Hvis denne opfattelse er rigtig, er exoplanetsystemerne altså noget andet – dannelsesmæssigt – end vores Solsystem, og i så fald har observationerne endnu intet lært os om solsystemer dannet som vores eget.



Figur 3. Excentriciteten i banebevægelsen som funktion af banens halve storakse (målt i enheder af jordbaneradien) for de kendte exoplaneter (krydser) og for de 5 inderste planeter i vores solsystem (diamantsymboler).

Radialhastighedsmetoden er ikke ny, men den store nøjagtighed i radialhastighedsbestemmelsen er ny. For 50 år siden var en nøjagtighed på 1 km/s fint, men den første exoplanet, 51 Peg b, blev detekteret i 1995 med et instrument med en nøjagtighed på 10 m/s. Det er samme hastighed som Jupiter slynger Solen rundt om deres fælles tyngdepunkt med, men 51 Peg b har en omløbstid på 4 døgn og Jupiter 12 år. Det tager mange års observationer at identificere en planet i en Jupiter bane, og man er endnu ikke der efter 10 års observationer. Selv med dagens bedste målenøjagtighed på under 1 m/s vil det tage måske 5 eller 10 år endnu inden vi kan forvente at se en egentlig Jupiter. Uranus og Neptun med deres hhv. 84 og 164 år lange omløb, vil naturligvis ikke kunne identificeres indenfor en menneskealder. En anden begrænsning er at metoden kræver meget højopløsnings spektroskopi, hvilket i praksis begrænser detektionerne til afstande af få hundrede lysår fra os for sol-lignende stjerner, og væsentlig kortere afstande for de universelt set langt mere almindelige M-type stjerner.

En metode der minder meget om radialhastighedsmetoden, men potentielt vil kunne sige noget om exoplaneter udenfor vandlinien og længere ud i Mælkevejen, er astrometri. Her måler man i stedet for komponenten frem og tilbage af stjernens bevægelse, bevægelsen fra side til side – ”slingrebevægelsen” hen over himmelkuglen. Alene fra vægtstangsprincippet kan man indse at jo større afstanden mellem stjernen og planeten er, desto større vil stjernens slingren blive. Imidlertid vil meget store planetbaner igen kræve meget lange tidsserier, og for at opnå den nødvendige nøjagtighed, er det nødvendigt at observere udenfor Jordens atmosfære. Flere satellitter er i støbeskeen, og flagskibet blandt dem er den europæiske Gaia-satellit der forventes at få en målenøjagtighed der ville kunne skelne siderne på en en-krone i 4 millioner km afstand, og nu er planlagt til opsendelse i 2010. Det forventes, baseret på statistikken fra radialhastighedsmålingerne og satellittens forventede levetid, at man vil kunne identificere 10.000 nye exoplaneter indenfor 600 lysår fra Solen, i baner der er som radialhastighedsplaneternes. Skulle det i fremtiden besluttes at opsende en ”Gaia II”, om f.eks. 25 år, ville det naturligvis markant forlænge basislinien for tidsserien, og dermed åbne muligheden for en stærkt forbedret statistik for planeter i Neptun- og Uranus-lignende baner.

Direkte fotografering af exoplaneter

Indtil for ganske nyligt var tanken om direkte at se en exoplanet nærmere science fiction end en realistisk forestilling. De første billeder af exoplaneter er imidlertid nok allerede taget. Ved at udnytte interferensen mellem lys fra den samme bølgefront opfanget af to forskellige teleskoper, kan man opnå en rumlig opløsning der tillader identifikation af Neptun-lignende planeter omkring de nærmeste stjerner. Det kræver ”blot” at lyset fra to eller flere involverede teleskoper føres til samme detektor med en vejlængde der er ens indenfor en brøkdel af en lysbølgelængde. Sådanne opstillinger har været funktionsdygtige indenfor det seneste års tid fra flere observatorier, bl.a. mellem de store europæiske VLT-teleskoper på Paranal i Chile. Herfra har man allerede nu optagelser der viser unge stjerner med himmellegemer der kunne være Neptuner i Neptun-lignende afstande fra stjernen. Spørgsmålet er, om det virkelig er Neptun-planeter, eller det er baggrundsstjerner der tilfældigvis ligger i den rigtige vinkelafstand. I princippet ville man naturligvis i løbet af et par hundrede års observation kunne se om de kredser om stjernen, men allerede indenfor et par år vil man kunne vise om de to legemer følges ad i deres baner på himmelkuglen, hvilket ville være usandsynligt hvis det var to tilfældige stjerner på forskellig afstand fra os, men hvilket ville være tilfældet hvis det er en stjerne og dens planet.

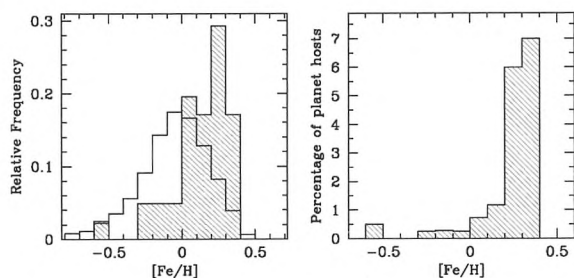
Da den rumlige opløsning skalerer lineært med afstanden mellem teleskoperne, ville man muligvis kunne skelne Jord-lignende planeter, hvis man anbragte sine

teleskoper i synkrone kredsløb om Jorden. Sådanne instrumenter er på tegnebrættet både hos ESA og NASA, og kan meget vel være en realitet indenfor et årti eller to. På længere sigt er det rumfartsorganisationernes ambition at blive i stand til direkte at fotografere terrestriske (jordlignende) exoplaneter i få pixels opløsning, således at man vil kunne identificere mulige kontinenter, oceaner, skysystemer, og polkalotforandringer – og ikke at forglemme kunne optage spektre der vil kunne afsløre om atmosfæren er i kemisk eller biologisk ligevægt.

Afhængigheden af metalliciteten

I standardmodellen for Solsystemets dannelse skulle man forvente, at store planeter vil være mere hyppige omkring stjerner dannet fra en sky med højt indhold af ilt end stjerner med lavt indhold af ilt. Mængden af ilt bestemmer nemlig mængden af vandmolekyler, der igen bestemmer hvor hurtigt massen af den faste planeterne kan vokse sig stor nok til at få den omkringliggende gassky til at kollapse over kernen og danne en gasgigant. Den relative hyppighed af de tunge grundstoffer (dvs. tungere end helium) er nogenlunde ens for alle (ikke alt for gamle) stjerner. Vi kan derfor udtrykke ilthypigheden ved hypigheden af hvilket som helst grundstof vi kan måle, og taler derfor oftest om stjernens metallicitet der betyder den procentdel af stjernens masse der ikke er brint og helium.

Exoplaneter er langt hyppigere omkring stjerner med høj metallicitet, og man har kun identificeret planeter omkring en enkelt stjerne som har mindre end 1/3 af Solens metallicitet (se fig. 4). Dette resultat fortolkes oftest som at stjernerne skal have en vis metallicitet før de kan have planetsystemer, men det er nok fornuftigere at begrænse sig til at konkludere, at kun over en vis metallicitet vil der dannes kæmpeplaneter identificerbare vha. radialhastighedsmetoden. De metalfattige stjernesystemer kunne meget vel tænkes befolket med terrestriske planeter inden for snegrænsen, og udenfor grænsen huse lidt større sten-is planeter der aldrig blev store nok til et gaskollaps der kunne omforme dem til gasgiganter og gøre dem identificerbare med radialhastighedsmetoden.



Figur 4. Hyppigheden af kendte exoplaneter som funktion af stjernernes metallicitet. Fra N.C. Santos et al. 2004

En bekræftelse af, at der ikke eksisterer varme Jupiter-lignende kæmpeplaneter omkring stjerner med

lav metallicitet, fik vi forrige år da én af de længste sekvenser af optagelser nogensinde foretaget med rumteleskopet viste, at stjernerne i den metalfattige stjernehop 47 Tucana havde mindst 10 gange lavere hyppighed af varme Jupiter-giganter end stjernerne i Solens omegn. Her anvendte man den såkaldte passagemetode, hvor man kigger efter periodiske dyk i stjernens lysstyrke som følge af passage af en kæmpeplanet hen foran stjerneskiven. Metoden har vist sig vanskeligere at anvende end først antaget, fordi flere andre fænomener end en planetpassage vil give et lignende periodisk dyk i stjernens lysstyrke, men et nulresultat er ikke til at misforstå. Ud af de 17 Jupiterpassager man havde forventet at se, hvis hyppigheden havde været den samme som for stjernerne i Solens omegn, så man nul.

Om få år vil to satellitter foretage dedikerede passagemålinger af stjerner i Solens omegn, og man håber at opnå så stor fotometrisk nøjagtighed, at man vil kunne se passagen af så små planeter som få gange Jordens diameter. Fra teleskoper på Jorden har man allerede gennemgået alle de kendte exoplaneter, og som statistisk forventet har netop én af planeterne periodiske passager hen over skiven på den stjerne den omkredser (med en periode på 3,5 døgn). Størrelsen af lysstyrkedykket under passagen viser os hvilken brøkdel af stjerneskiven der dækkes af planeten, og er dermed et mål for planetens radius (relativt til stjernens radius som antages kendt). Fra rumfanget og massen er massefylden af denne exoplanet unikt bestemt til $0,4 \text{ g/cm}^3$ – omkring halvdelen af Saturns $0,8$ som er den laveste blandt planeterne i vores eget solsystem. Som tidligere nævnt betyder det sandsynligvis at den målte exoplanet (i modsætningen til kæmpeplaneterne i vores solsystem) ikke har nogen fast indre kerne, men helt igennem består af gas.

Planeter som dem i vores eget solsystem

Den eneste af de mange metoder til opdagelse af exoplaneter som er følsom overfor planeter magen til dem i vores eget solsystem og som rækker over det meste af Galaksen, er den såkaldte mikrolinseteknik, og det er derfor sandsynligt at det er her vi skal søge det endelige svar på om Solsystemet er almindeligt eller unikt – om betingelserne ud gennem Mælkevejen for liv som vi kender det er gode eller dårlige. Man udnytter her at hvis to stjerner på forskellig afstand står i næsten samme retning på himlen, vil lyset fra baggrundsstjernen (kilden) set fra os afbøjges i tyngdefeltet fra forgrundsstjernen og dens eventuelle planeter (mikrolinsen). Størrelsen af afbøjningen var en af de første forudsigelser af den almene relativitetsteori som blev eftervist observationelt (ved Eddingtons berømte målinger under solformørkelsen i 1919). Geometriske overvejelser viser, at afbøjningen vil resultere i en intensivering af lyset fra kilden, som er størst når sigtelinien mellem linsen og kilden er mindst.

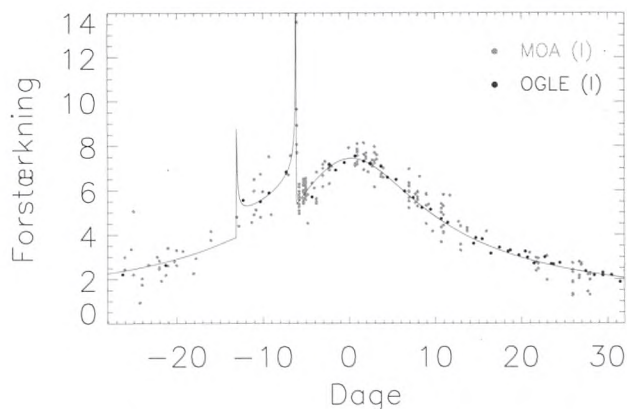
Pga. den store tæthed af stjerner i retningen mod Mælkevejens centrum, vil Mælkevejen hele tiden præsentere os for et antal nye stjerner der passerer hinanden tæt nok på himlen til at den forreste af stjernerne virker som en mikrolinse for den bagerste. Hvis linsen består af kun én stjerne, vil dens tyngdefelt være symmetrisk, og lysvariationen af baggrundsstjernen vil derfor variere symmetrisk i tiden mens den passerer linsen. Hvis derimod forgrundsstjernen omkredsnes af en planet eller en anden stjerne, vil det samlede tyngdefelt fra linsen være asymmetrisk, og kildens lysvariation følgelig være asymmetrisk i tiden. Asymmetrien er ikke en simpel lineær funktion af det samlede tyngdefelts styrke, men derimod en stærkt ulineær funktion, hvor kildens lys ændres næsten diskontinuert når sigtelinien til kilden passerer specielle linier i linseplanet. Disse såkaldte kaustiske³ linier danner tilsammen én eller flere lukkede figurer, kaldet kaustiske områder. Jo større en omkredsende planets masse er desto større vil disse figurer være, og deres placering i systemet er bestemt af afstanden mellem planeten og stjernen. Hvis observationerne foretages i tilstrækkelig tidsopløsning til, at man bl.a. kan slutte hvornår kilden bevægede sig ind og ud af linsens kaustiske område, kan man modellere figurens størrelse og placering i systemet, og derved slutte sig til masse og baneafstand af den planet der var anledningen til det kaustiske område. Man har så observeret en exoplanet omkring linsestjernen. Den nedre grænse for den detekterbare planetmasse er bestemt af tidsopløsningen og nøjagtigheden i fotometrien. I princippet vil planeter så små som Jorden eller mindre kunne detekteres, men sandsynligheden for detektion af Jupiter-masse planeter er større, fordi deres kaustiske områder er større.

Flere survey-instrumenter detekterer automatisk disse passager, ved med mellemrum at bestemme lysstyrken af millioner af stjerner i udvalgte felter af himlen i retning mod Mælkevejens centrum. Så snart en intensivering af lyset fra én af stjernerne tyder på begyndelsen af en linsebegivenhed, offentliggøres data som en mulig mikrolinse. Det mest omfattende eftersøgningsprojekt er det Polsk-Amerikanske OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) der nu årligt afslører omkring 600 nye mikrolinsekandidater. Disse observationer er meget værdifulde for at bestemme f.eks. stjernernes massefordeling og Mælkevejens masse, men for sparsomme til i almindelighed at afgøre om linsestjernen omkredsnes af en exoplanet. Hertil kræves langt højere tidsopløsning i målingerne end man kan opnå under et survey.

For at få maksimal tidsopløsning, indgår den danske 1,5 m kikkert på La Silla i Chile for tiden i et internationalt samarbejde hvor vi løbende udvælger de mest lovende OGLE kandidater til observation i tilstrækkelig tidsopløsning til at kunne afsløre og karakterisere eventuelle exoplaneter i linsesystemet. Foruden den

danske kikkert deltager to observatorier i Australien og to observatorier i Sydafrika i projektet (kaldet PLANET; Probing Lensing Anomalies NETWORK), således at vi tilsammen kan observere udvalgte linsebegivenheder 24 timer i døgnet (når ellers vejret tillader det). Data reduceres løbende ved kikkerten og samles natten igennem i vores database i Paris. Medarbejdere analyserer dér de opnåede lyskurver, således at besked omgående kan gives tilbage til observatorierne hvis nogle begivenheder viser tegn på planeter, så observationerne kan intensiveres til fuld dækning af netop denne linse, så en sikker masse- og banebestemmelse af planeten kan foretages når passagen er forbi.

Efter få indledende observationer kan man i almindelighed beregne hvor tæt baggrunds- og linsestjernen vil passere hinanden, og som en tommelfingerregel kan man sige, at jo tættere de passerer hinanden, jo større er sandsynligheden for, at en eventuel planet i systemet vil kunne detekteres. Ironisk nok blev den første mikrolinse-exoplanet imidlertid identificeret i sommeren 2003 omkring en OGLE kandidat der havde relativt lille sandsynlighed for at vise en eventuel exoplanet, mens vi med den danske kikkert var optaget af at følge OGLE kandidater der havde større sandsynlighed for, at afsløre deres planeter. Resultatet er desværre, at karakteriseringen af den første mikrolinse exoplanet er ret dårlig, baseret på de relativt sparsomme OGLE og MOA (Microlensing Observations in Astrophysics) survey-data alene. Imidlertid er signalet (se Fig.5) fra exoplaneten ikke til at tage fejl af, og med rimelig sandsynlighed kan det konkluderes, at linsesystemet er en M dværgstjerne på knapt halvdelen af Solens masse der omkredsnes af en planet på halvdanden gange Jupiters masse i en bane med radius 3 AU. Det er tankevækkende at denne første mikrolinse-planet også er en "varm Jupiter" planet (ligesom radialhastighedsplaneterne) i modstrid med standardmodellen for solsystemers dannelse, til trods for at mikrolinseteknikken ikke er specielt følsom for denne slags planeter.



Figur 5. Lysstyrkevariationen der afslørede den hidtil eneste offentliggjorte mikrolinse-planet.

³kaustisk betyder egentlig brændende, men bruges her om et skarpt udslag.

Mikrolinseteknikken er en statistisk metode der kræver tålmodighed, og de vigtigste resultater vil først vise sig efter nogle års observationer. Hvis observationer af kildens passage gennem linseplanet ikke viser et kaustisk område kan det enten være (1) fordi der ikke var noget kaustisk område (dvs. stjernen var alene i rummet; tyngdefeltet var symmetrisk), eller (2) fordi vi ikke observerede kilden mens den passerede gennem det kaustiske område (den tidsmæssige opløsning i observationerne var for dårlig), eller (3) fordi planeten lå ”på den anden side af stjernen” (dvs kilden undgik det kaustiske område). Man kan således aldrig med sikkerhed sige at en given linsestjerne ikke havde en planet ud fra en negativ observationsserie, men man kan sige med hvilken sandsynlighed man ville have identificeret planeten hvis der var en.

Efter at have fulgt et statistisk signifikant antal linsebegivenheder med stor planet-detektions sandsynlighed i tilstrækkelig tæt tidsopløsning, kan man derfor udtale sig om hvor stor en brøkdel af stjernerne der har planeter med given masse og baneradius. Da stjernerne er tilfældigt valgt (af naturen selv) blandt Mælkevejens stjerner, kan man derfor endelig udtale sig om hvilken brøkdel af Mælkevejens stjerner der omkredses af planeter af en given type. Specielt er PLANET-eftersøgningen tilrettelagt således at hvis vi ikke identificerer en eneste exoplanet i det 3-års tidsrum projektet foreløbigt er fastsat til at vare, så kan vi konkludere, at mindre end 5% af Mælkevejens stjerner har solsystemer som vores med Jupiter-lignende gasplaneter i Jupiter og Saturns baneafstande. På den måde er PLANET-projektet på mange måder et af de få projekter hvor det mest interessante resultat måske ville være hvis vi netop ikke finder noget af det vi leder efter!

PLANET er i skrivende stund midt i andet år af sit program. Selvom det endnu er for tidligt at lægge tal på hvor stor en brøkdel af Mælkevejens stjerner der har solsystemer som vores, er et allerede sikkert: Det vrimer ikke med vores type af solsystemer, de er snarere ret sjældne universelt set.

Kant og Laplace havde formentlig stort set ret i, hvordan de opfattede Solsystemet dannet, men det synes mere og mere tvivlsomt om deres tanker kan overføres til stjerner i almindelighed. Giordano Bruno og andre af Middelalderens optimister tog sandsynligvis fejl når de troede, at fordi der er mange stjerner i Universet betyder det også mange Jordkloder med liv. Den optimisme der prægede opdagelsen af de første (”mærkelige”) exoplaneter for 10 år siden, er (for mig i det mindste) afløst af en fornemmelse af, at mindre end 5% af Mælkevejens stjerner har mærkelige systemer af

gasgiganter i uventede små baner, og mindre end 5% af Mælkevejens stjerner har solsystemer som vores eget. De resterende 90% har tilsyneladende hverken gasgiganter indenfor eller udenfor snegrænsen.

For at komme videre behøver vi bedre statistik for exoplaneter af Solsystemets type. Vi behøver bedre modeller for solsystemernes dannelse. Og vi behøver observationer af meget højere opløsning af de protostellare skyer der skulle have været, og måske er, solsystemer under dannelse. Men det store spørgsmål om Solsystemets mulige almindelighed er formentlig allerede blevet afløst af spørgsmålet om hvad der set fra vores perspektiv gik galt for hovedparten af de protostellare nebuloser – hvorfor blev de ikke til hyggelige små planetsystemer som de skulle? Hvad var det der var så ualmindeligt under Solsystemets dannelse at det lige præcis blev så velegnet – til os?

Artikler og hjemmesider

Nedenfor er angivet uddybende referencer til den videnskabelige litteratur indenfor emnerne *Exoplaneter* (ref. 1-4) og *Dannelsen af solsystemer* (ref. 5-7).

Referencer:

- [1] P. Bodenheimer og D.N.C. Lin (2002), *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* bind **30**, side 113-48.
- [2] M. Perryman (2000), *Rep. Prog. Phys.* bind **63**, side 1209-72.
- [3] PLANETS hjemmeside: planet.iap.fr
- [4] Jævnligt opdaterede kataloger: exoplanets.org og www.obspm.fr/planets
- [5] G.W. Wetherill (1980), *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, bind **18**, side 77-113.
- [6] C.J. Lada and N.D. Kylafis (eds.), *The Origin of Stars and Planetary Systems*, Kluwer 1999.
- [7] V. Mannings, A.P. Boss, and S.S. Russell (eds.), *Proto-stars and Planets IV*, Ariz. Press 2000.



Uffe Gråe Jørgensen arbejder på Niels Bohr Institutet fAFG, Københavns Universitet, indenfor exoplaneter, stjernemodeller og solsystemets dannelse.

Nyt fra Astronomisk Selskab

Kampagnetilbud til nye medlemmer

Det er et velkendt fænomen at priserne på alting stiger. Det gælder desværre også for Astronomisk Selskabs medlemskontingent. På grund af bl.a. bortfaldet af portostøtte til tidsskrifter er vi nødt til at forhøje kontingentet fra 290 til 350 kroner fra næste år.

Vi håber, at de nuværende medlemmer har så meget glæde af medlemsskabet at de kan acceptere en noget højere pris. For de, der overvejer at melde sig ind, kan den høje pris nok i nogle tilfælde virke afskrækkende. Derfor har vi i bestyrelsen diskuteret, hvordan vi kan præsentere Astronomisk Selskab for interesserede på en måde, der giver en oplevelse af at "få noget for pengene". Vi tilbyder derfor op til 16 måneders medlemsskab for 12 måneders pris. De, der melder sig ind i resten af 2004 vil også være medlemmer i hele 2005.

Det er nok også på sin plads at gøre rede for, hvad medlemmerne får for deres kontingent. Alle medlemmer får hvert år fire numre af to blade, *Kvant* og *Knudepunktet*. I *Kvant* – som du har i hånden nu – kan man læse førstehåndsberetninger fra danske forskere, der beskriver de ofte komplicerede sammenhænge, der indgår i moderne videnskabeligt analysearbejde. *Kvant* er nok det bedste dansksprogede blad, når det gælder om at beskrive:

- Hvad et forskerhold vil uddrage af viden ved et givet projekt.
- Hvilke observerbare data, der måles og hvordan dette gøres.

– Hvordan disse data analyseres og leder til den ønskede viden.

Knudepunktet er ligeledes i farver, men i A5 format. Det indeholder amatørastroномers og foreningers beretninger om observationer, teknisk udstyr, medlemsarrangementer mv. En væsentlig del af bladets indhold er artikler fra landets mange astronomiske foreninger. Dette er en af de måder, hvor Astronomisk Selskab medvirker til at støtte det aktive astronomiske foreningsliv på. AS medvirker også i mange tilfælde som medarrangør ved forskellige arrangementer rundt om i landet.

Astronomisk Selskab driver Wieth-Knudsen Observatoriet i Tisvilde. Her kan medlemmerne overnatte og få adgang til avanceret teknisk udstyr. Wieth-Knudsen Observatoriet er måske det eneste alment tilgængelige observatorium, som har mulighed for beboelse. Det er en særdeles relevant facilitet for en landsdækkende forening, hvor medlemmerne ofte kommer langvejs fra og ikke kan tage hjem efter en observationsaften.

Hvert forår og efterår arrangerer Astronomisk Selskab i samarbejde med Tycho Brahe Planetarium og Folkeuniversitetet fem foredrag med et aktuelt fælles tema i både København og Århus. Efterårets program kan du se i kalenderen på næste side.

Herudover er der en række medlemsaktiviteter i form af interessegrupper og sektioner, møder mv. Alt i alt må pengene til medlemskontingentet siges at være givet godt ud - selv om prisen stiger i forhold til i år.

KVANT udgives af:

**Astronomisk Selskab
(AS)**
as.dsri.dk

Michael Quaade (formand)
Hviddingvej 48
2610 Rødovre
Tlf. 36723634 (privat)
43386947 (arbejde)
mq@dsri.dk

Aksel Gasbjerg (kasserer)
Tlf. 48245514, ag@atp.dk

Inge Frederiksen (medlem.)
Tlf. 46756676
inge.frederiksen@mail.dk

**Dansk Fysisk Selskab
(DFS)**
www.nbi.dk/dfs

Jan W. Thomsen (formand)
Ørsted Laboratoriet
Universitetsparken 5
2100 København Ø
Tlf. 35320463
jwt@fys.ku.dk

Erik H. Pedersen (kasserer)
horsdal@ifa.au.dk

**Dansk Geofysisk Forening
(DGF)**
www.gfy.ku.dk/~dgf

Karen G. Schmidt (formand)
Center for Planetforskning
Juliane Maries Vej 30
2100 København Ø
Tlf. 35320613
kgs@gfy.ku.dk

Bo Vinther (kasserer)
Tlf. 35320568, bo@gfy.ku.dk

Lars Stenseng (medlemmer, www)
Tlf. 35875399
las@kms.dk

**Selskabet for Naturlærens
Udbredelse (SNU)**
www.naturvidenskab.net

Dorte Olesen (formand)
UNI-C
Vermundsgade 5
2100 København Ø
Tlf. 35878804 (sekretær)
bente.egaa@uni-c.dk

Jørn Johs. Christiansen
(sekretær, medlemmer)
Tlf. 39695818
jjchr@tdcadsl.dk

Foredrag i efteråret – Mars anno 2004

Når dette læses er foredragsrækken i Astronomisk Selskab allerede i gang, men vi bringer alligevel en påmindelse om at efterårssæsonen er startet og hvilke foredrag der kommer.

Siden Tycho Brahes dage har interessen for planeten Mars været stor. Ved juletid 2003 ankom den første europæiske rumsonde til Mars og i januar 2004 landede NASA's to robotter, Spirit og Opportunity, på den røde planet bl. a. med flere danske eksperimenter. Samtidig blev den første europæiske marssonde, Mars Express, bragt i kredsløb om planeten. Disse missioner har siden leveret et væld af billeder og målinger, der har bidraget til større viden om den røde planet. I denne foredragsrække gør danske marsforskere status over vores nuværende viden om planeten samt planerne for de kommende års udforskning. Ikke mindst vores indsigt i vandets historie er blevet bedre og det har pustet nyt liv i diskussionen om, hvorvidt livet er opstået på Mars.

Vejret på Mars, foredrag v/*Søren Larsen*, den **25. okt.** i København – **1. nov.** i Århus

Rejser til Mars og drivkraften bag udforskningen af planeten, foredrag v/*Per Nørnberg*, **15. nov.** i København – **22. nov.** i Århus

At genskabe Mars på Jorden: laboratoriesimuleringer og analogier, v/*Jonathan Merrison/Palle Gunnlaugsson*, **6. dec.** i København – **13. dec.** i Århus

Foredragene finder sted **kl. 19.15** på adresserne:
København: Audtoriet, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø.

Århus: Matematisk Institut, Århus Universitet, Ny Munkegade, Bygning 530, 8000 Århus C.

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

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

SNU og UNF fejrer 240 års fødselsdag

Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU) fejrede sammen med Ungdommens Naturvidenskabelige Foreninger (UNF) sine henholdsvis 180 og 60 års jubilæer. Læs mere om jubilæumsdagen, der blev fejret i Experimentarium, i artiklen på næste side.

På jubilæumsdagen den 14. august, som også var H.C. Ørstedes 227 års fødselsdag, blev SNU's nye flotte hjemmeside – naturvidenskab.net – præsenteret.

Efterårets foredragsprogram har temaet "Hvor danskere er brudt igennem" og byder på en række foredrag om store gennembrud lavet af danske forskere.

Steno og virkeligheden, foredrag den **13. sep.**, v/*Lektor Ella Hoch*.

Tycho Brahe, foredrag den **4. okt.**, v/*Dr. scient Jens Martin Knudsen*.

Ole Rømer, museumsbesøg og foredrag den **8. nov.**, v/*Afdelingsleder Claus Thykier*.

NB: Arrangementet foregår på Ole Rømer Museet, Kroppedals Allé 3, 2630 Tåstrup. Tilmelding er nødvendig og kan foretages til Bente Egaa.

Niels Bohr og atomfysikkens barndom, foredrag den **29. nov.**, v/*Professor, Dr. scient. Helge Kragh*.

Foredragene finder sted mandage kl. 19.30 på Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, Kbh. K., hvis intet

andet er nævnt, og er beskrevet på SNU's hjemmeside.

PFEIFFER  **VACUUM**

Forskerens

"One-Stop-Shop"
Massespectrometre:
massrange op til 2048 amu

Alt nødvendigt tilbehør:
Pumpesystem, In-let system,
kammer, ventiler, skueglas,
gennemføringer, fittings og
tryksensorer

Helium læk søger QualyTest™

Mød os på DFS årsmøde

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

Et dobbelt jubilæum – SNU 180 år og UNF 60 år

Michael Cramer Andersen, KVANT og UNF, og Johnny Hartvig Olsen, UNF Danmark.

UNF – Ungdommens Naturvidenskabelige Forening – og SNU – Selskabet for Naturlærers Udbredelse, stiftet af H.C. Ørsted i 1824 - fejrede sine 60 henholdsvis 180 år med en fælles jubilæumsreception i Experimentarium i Hellerup på H.C. Ørsteds fødselsdag den 14. august.

Naturvidenskabsshow

Som optakt blev der om formiddagen for første gang afholdt "Ungdomsmesterskabet i Naturvidenskabs Formidling". For at fejre nogle af de mange forskellige naturvidenskabsshow, som formidler stand-up naturvidenskab fra ung til ung, dystede tre af landets bedste hold om æren for at vise det bedste naturvidenskabelige show. Deltagerne var: "Kemishow Århus", "Kemishow Aalborg" og "DTU Scienceshow".



Figur 1. Kemishow Århus i aktion på Eksperimentarium.

Der blev demonstreret elektromagneter, lyssværd, fyrværkeri, væsker der skiftede farver, selvlysende kemi og meget mere. Juryen, der med tre fremragende præstationer havde en hård opgave, blev enige om at "Kemishow Århus" havde leveret det bedste show.

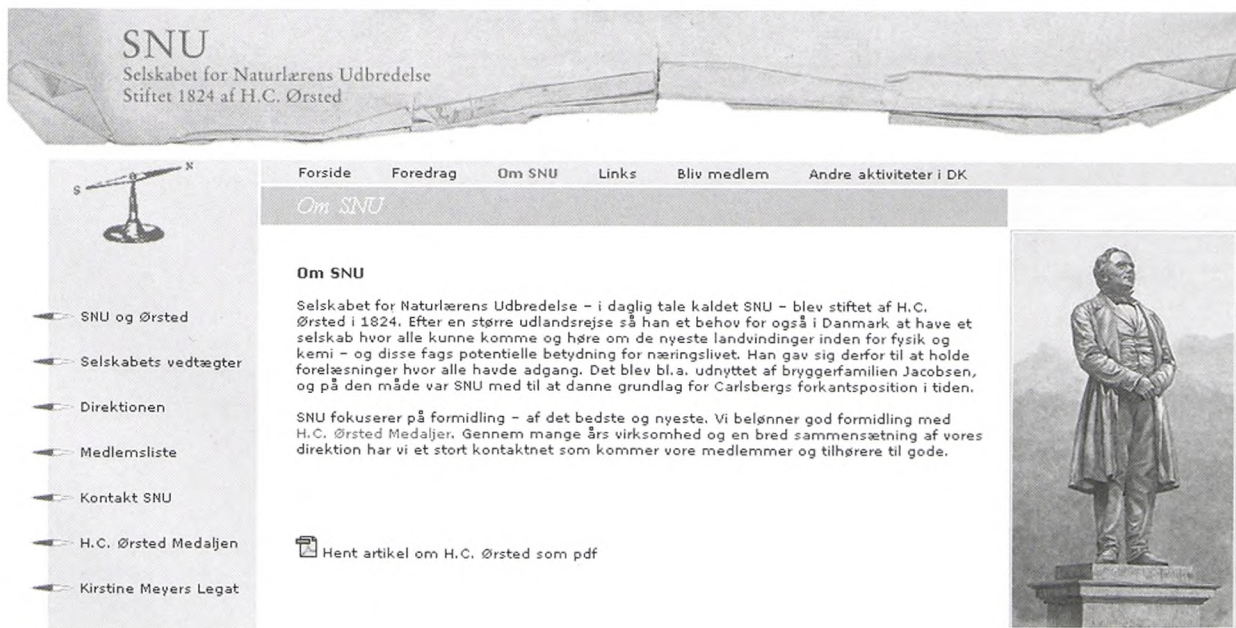
Efter kåringen af vinderne var der fokus på de to foreningers historie og fremtidsperspektiver.

Ørsted medalje og hjemmeside

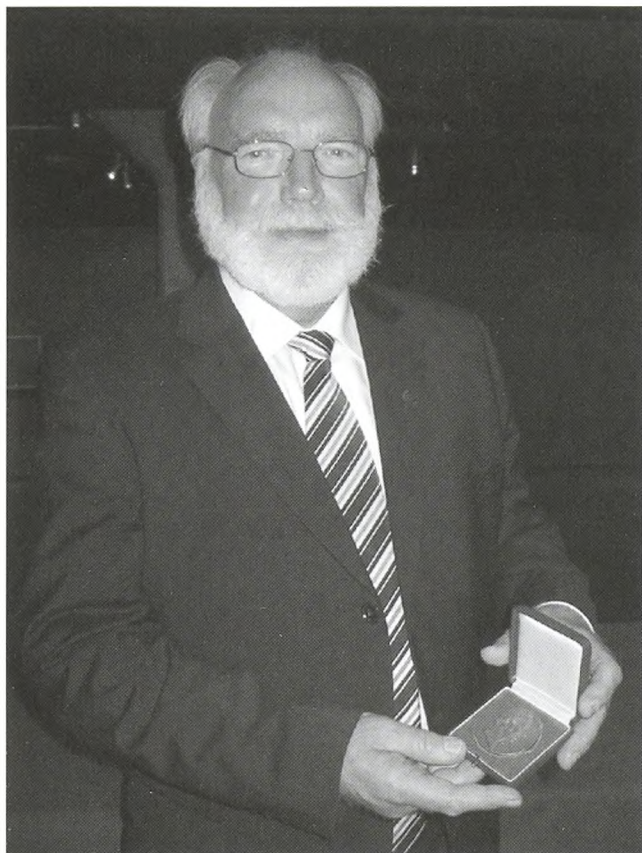
Formand for SNU, Dorte Olesen, fortalte om H.C. Ørsteds motivation for at oprette SNU. Efter sin opdagelse i 1820, at en kompasnål slår ud under en strømførende ledning, blev han berømt i hele Europa. Ørsted blev inviteret til at holde foredrag og få overrakt medaljer, og på sit "sejrstogt" rundt om i Europa så han hvordan andre lande havde foreninger der udbredte naturvidenskabens resultater. I 1824 oprettede Ørsted derfor Selskabet for Naturlærers Udbredelse (naturlære betød *de eksakte videnskaber*, dvs. fysik og kemi).

Dorte Olesen benyttede også lejligheden til at præsentere SNU's nye hjemmeside – naturvidenskab.net. Her kan man dels finde en foredragskalender og artikler om H.C. Ørsted.

Herefter blev Ørsted-medaljen i bronze uddelt til Erik Schou Jensen, der i mange år har udviklet udstillinger på Geologisk Museum, stået for museets skoletjeneste og engageret formidlet naturvidenskab gennem foredrag, artikler og ekskursioner.



Figur 2. SNU's nye flotte hjemmeside naturvidenskab.net



Figur 3. Erik Schou Jensen med Ørsted medaljen.

UNF historie

Et tidligt bestyrelsesmedlem af UNF, Ole B. Jørgensen, fortalte om de første år af foreningens virke. "I de første år var økonomien ikke så god, men vi var friske og havde godt humør", fortalte O.B. Jørgensen. Når man ser, at en sæson kostede 4 kr. og at man skulle betale 25 øre for et fabriksbesøg eller en filmsaften, forstår man det godt! Det var også svært at få sponsorer. Paul Bergsøe, der holdt foredrag i radioen og havde skrevet flere populære bøger om naturvidenskab, hjalp med at finde sponsorer til foreningen. Men selv Bergsøe måtte erkende, at det var svært at drive penge ud af virksomhederne i de magre efterkrigsår.

Som i dag var kerneaktiviteterne foredrag og ekskursioner. Ekskursionerne gik bl.a. til en brødfabrik, et gasværk og en chokoladefabrik, men kunne f.eks. også være "Kemikeren på skovtur", hvor deltagerne gik på opdagelse i skovbunden med pH-papir, eller en undersøgelse af slam op og ned ad Gudenåen i kano.

To af UNF's aktive skrev jævnligt i Familie Journalen om forskellige naturvidenskabelige emner og fik på den måde udbredt kendskabet til foreningen. I 6 år udkom bladet "Naturviden" med artikler om f.eks. "Atombomber" og "Fjernsyn", men det kunne ikke løbe rundt med et kontingent på 6 kr/år og måtte lukke. UNF forsøgte tidligt at ekspandere i Århus, men det var ikke

nogen stor succes og afdelingen lukkede siden.

UNF i dag

Med lokalforeninger i København, Århus, Aalborg og Odense, ca. 2500 medlemmer og 110 foredrag og 25 studiebesøg på landsplan, er der langt fra de magre efterkrigsår til UNF anno 2004. I de seneste år har UNF taget initiativ til flere særarrangementer, bl.a. en tur til NASA i 2001, hvor deltagerne overværede en rumfærgeopsendelse (se en beretning herfra i KVANT nr. 2, 2001). I 2003 gik turen til ESA og p.t. planlægges en tur til CERN.

Et nyere initiativ er sommerskolerne, som har været velbesøgte. Det startede med BioTech Camp (2002-2004) og netop i år er der blevet udvidet med Nano Camp (se "Tæt på nanotech"). For næste år er planlagt BioTech Camp, Nano Camp og en nytilkommer: Game Camp om computerspil. På sommerskolerne får deltagerne selv fingrene i naturvidenskaben, de lærer noget nyt i et intenst, sammenhængende forløb og lærer jævnaldrende at kende.

UNF indgår i et nordisk samarbejde med tilsvarende foreninger i Sverige og Norge, som bl.a. arrangerer en Space Camp, hvor deltagerne selv samler en raket og fyrer den af.

Med 60 år på bagen er UNF mere levende end nogensinde. UNF vil søge at fastholde succeserne, prøve nye ting, få flere medlemmer og flere lokalforeninger; alt sammen med fokus på at det stadig skal være sjovt, lærerigt og spændende! En stor tak skal gives til samarbejdspartnere, sponsorer, medlemmer og aktive gennem de sidste 60 år. De sidste arbejder helt ulønnet, men helt i Ørstedes ånd - "Naturvidenskab er sjovt!"

Medlemsskab af UNF

Medlemskab af UNF koster for gymnasieelever og studerende typisk 30-50 kr i de forskellige foreninger. Læs mere i sæsonprogrammerne fra lokalforeningerne, eller se www.unf.dk.

Studerende kan blive medlem af SNU for kun 75,-/år og får herved KVANT fire gange om året.

Læs mere på: naturvidenskab.net

Michael Cramer Andersen er astrofysiker og underviser til daglig på Ordrup Gymnasium. Han er redaktør af Kvant, der er medlemsblad for SNU m.fl., og mangeårig aktiv i UNF.

Johnny Hartvig Olsen er civilingeniør i teknisk fysik og arbejder på Danmarks Tekniske Universitet. Han er medarrangør af Nano Camp og formand for UNF Danmark.

Er asteroider en trussel mod Jorden?

René Michelsen, Astronomisk Observatorium, NBIfAFG, Københavns Universitet.

Indledning

Vi hører ofte om jordnære asteroider (Near-Earth Objects/Asteroids, eller NEOer/NEAer) på kollisionskurs mod Jorden, for så nogle dage senere at erfare at dommedag endnu engang er blevet aflyst. Selv i mangel af trusler fra konkrete objekter bliver vi mindet om at enden er nær, at vi er truet af de mange ukendte asteroider der bevæger sig gennem rummet, og som når som helst kan ramme Jorden. Udover at mange af dommedagshistorierne er baseret på et helt utilstrækkeligt kendskab til asteroidernes baner, er der god grund til at antage en sund skepsis på dommedagsprofetierne. Læg mærke til ordet *sund*. For selv om dommedag er godt og underholdende stof i medierne, så historierne om farlige asteroider nemt bliver blæst ud af proportioner, så ligger der trods alt nogle faglige betragtninger til grund for historierne. Men som med de fleste ting er der mange aspekter det er nødvendigt at medtage, for at nå frem til en nuanceret opfattelse af problemet.

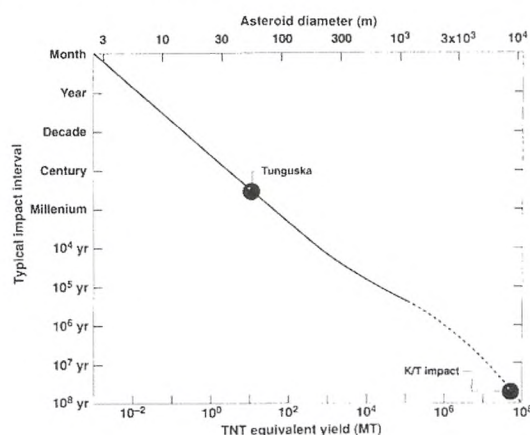
Kollisioner



Figur 1. Asteroiden (243) Ida, fotograferet den 28. august 1993 af Galileo-rumsonden. Læg mærke til kraterne på overfladen af Ida. Foto: NASA.

Her på Jorden har vi vidnesbyrd om asteroider som har ramt Jorden. Lejlighedsvis kan vi nyde de smukke stjerneskyer som følge af små støvkorn der brænder op i atmosfæren. Er asteroiden for stor til at den kan nå at brænde op i atmosfæren, kan den ramme jordoverfladen, og vi kan i heldige tilfælde samle resterne af asteroiderne op i form af meteoritter. Derudover findes der på Jorden en række krater dannet af asteroider der har ramt jordoverfladen med stor energi. Krafterne findes i mange størrelser, enkelte undtagelser er på 100 km eller mere i diameter. Men kraterer er ikke kun begrænsede

til Jorden. F.eks. finder vi dem også på Månen, Merkur og Mars. Selv på asteroiderne finder vi kraterer, se figur 1. Desuden kunne vi i 1994 følge kometen Shoemaker-Levy 9 da den ramte overfladen på Jupiter. Kraterer og kollisioner mellem legemer i Solsystemet er altså en helt naturlig ting for vores Solsystem, og er en vigtig mekanisme for udviklingen af vores Solsystem, siden det blev dannet for ca. 5 milliarder år siden. Det er derfor helt naturligt at forvente at Jorden også fremover bliver ramt af asteroider.



Figur 2. Estimat af den typiske hyppighed (lodret) mellem to kollisioner med Jorden, som funktion af asteroide-størrelsen (vandret, øverst), med omregning til den afsatte energi (vandret, nederst). Tunguska refererer til det ca. 50 m store legeme som lagde et stort område i Sibirien øde i 1908. K/T markerer størrelsen af den asteroide man formoder forårsagede dinosaurernes udslettelse på grænsen mellem kridt/tertiær tiden for ca. 65 millioner år siden. Figur fra [1].

Dette aspekt rejser naturligt spørgsmålet om hvor ofte en asteroide kolliderer med Jorden, og hvad konsekvenserne vil være. Et af de estimater der er blevet gjort, ses i figur 2. Man kan groft skelne mellem asteroider større eller mindre end 1 km, da de kilometerstore asteroider formodentlig kan forårsage globale påvirkninger, medens de mindre asteroider vil have begrænsede regionale eller lokale virkninger. Som vi måske ville forvente, vil en stor asteroide, mellem 1 og 10 km, afsætte betydelige mængder energi, men det sker dog relativt sjældent at et sammenstød af det omfang finder sted. Omvendt vil asteroider mindre end 1 km ramme Jorden relativt hyppigt, men den afsatte energi vil være begrænset. Vi har desuden lært at til forskel fra andre kendte naturkatastrofer tillader eksisterende teknologi faktisk at kortlægge asteroiderne og forudse et evt. nedslag måske årtier eller endog

århundreder i forvejen. Dette giver en principielt ny mulighed for enten helt at afværge nedslaget ved at pufte til asteroiderne, eller i det mindste at evakuere truede områder.

Det er dog her at den sunde skepsis for alvor skal sættes ind, da figur 2 indeholder begrænsninger på mange områder. Figuren er for det første et estimat som ikke er baseret på direkte målinger, men snarere på indirekte metoder, som f.eks. tælling af kratere på Månen. Den estimerede hyppighed er altså et gennemsnitstal for kollisionshyppigheden over en meget lang tidsskala, som ikke afspejler små og store variationer i hyppigheden. Ønsker vi derfor at lave en figur magen til figur 2, men som er gældende for vores tid, og derved bestemme den nutidige hyppighed mellem kollisioner, må vi først bestemme de jordnære asteroiders størrelsesfordeling, dvs. deres antal som funktion af størrelsen, og derigennem beregne hyppighederne (se også [2]).

Det andet problem med figur 2 er at vi selv med en nutidig udgave af figuren, ikke kan besvare spørgsmålet om hvorvidt Jorden er i overhængende fare for at blive ramt af en asteroide, da hyppighederne ikke kan omsættes til et absolut mål for hvornår Jorden bliver ramt næste gang. Vil man derfor besvare dette spørgsmål, bliver man nødt til at finde samtlige jordnære asteroider, bestemme deres baner, og for hver enkelt beregne om de inden for en årrække, typisk 100 år, vil ramme Jorden. Søgeprogrammer, som det amerikanske LINEAR [3], anvender jordbaserede teleskoper til at lede efter jordnære asteroider, i første omgang med fokus på asteroider større end 1 km. Disse er begrænsede i antal, skønnet 900-1000 styk, er relativt store og nemme at opdage, og vil have langt de største følgevirkninger efter et nedslag. Her må man dog igen huske, at netop disse store asteroider rammer Jorden meget sjældent, så vi skulle være ualmindeligt uheldige hvis Jorden blev ramt af så stor en asteroide, selv inden for et meget langt tidsrum fremover.

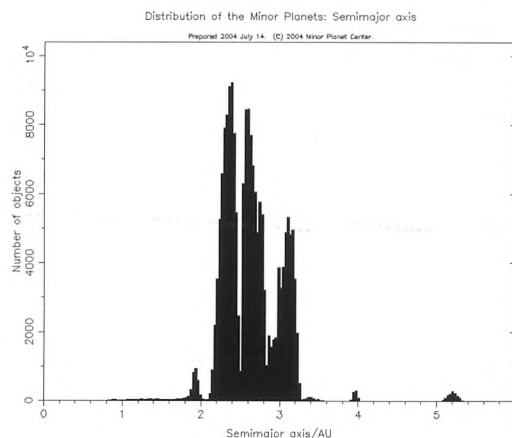
De små asteroider

Umiddelbart vil det således være en overdrivelse at forvente at Jordens undergang, som følge af en kollision med en kilometer stor asteroide, lurar lige om hjørnet, med mindre vi får sikre observationer der direkte peger på noget andet. Men som figur 2 indikerer, vil små asteroider, mindre en 1 km, kolliderer med Jorden med en gennemsnitligt hyppighed sammenlignelig med historisk tid. Selv om konsekvenserne af en sådan kollision ikke vil være altødelæggende, vil konsekvenserne lokalt være af betydeligt omfang, som det kendes fra Tunguska-episoden i Sibirien i 1908 (jvf. figur 2). Vi har altså brug for at studere de små asteroider nærmere.

I første omgang er det vigtigt at få afklaret den aktuelle kollisionshyppighed for de små asteroider, for at afgøre om det er nødvendigt at sætte massive ressourcer ind på et decideret varslingsystem. Hyppigheden kan

estimeres ud fra størrelsesfordelingen, men vores kendskab til denne fordeling er for de små asteroider yderst sparsomt. Dette skyldes at de mindre asteroider ikke er lige så lysstærke som de store, og derfor ikke kan opdages med søgeprogrammernes begrænsede effektivitet. Desuden skal de små asteroider være tæt på Jorden for at være lysstærke nok, men samtidig vil de bevæge sig meget hurtigt, og dermed være svære at observere. De mindste asteroider vil derfor kræve en anden teknologi, end man hidtil har anvendt (se omtalen af Bering-missionen i [2] og [4]). Figur 2 er derfor præget af stor usikkerhed hvad angår hyppigheden for asteroider mindre end 1 km.

Nu kunne man tro at store og små jordnære asteroider har samme størrelsesfordelinger, men dels ud fra kratertællinger og dels ud fra de direkte, men begrænsede, resultater af søgeprogrammerne, er der en kraftigt indikation af at de små asteroider har en stejlere fordeling, og at der altså findes flere af de små asteroider end man skulle forvente ud fra fordelingen af de store (se [5]). I kombination med overvejelserne om hvor de jordnære asteroider egentlig kommer fra, har dette åbnet op for en ny anskuelse af vores Solsystem.



Figur 3. Fordelingen af asteroider i Asteroidebæltet som funktion af den halve storakse. Kilde: Minor Planet Center. 1 AU eller AE er en *astronomisk enhed* – middelfaststanden mellem Jorden og Solen, ca. 150 mio. km.

I og med at de jordnære asteroider rammer de indre planeter og Solen, eller bliver slynget ud af vores Solsystem, må der eksistere en eller flere kilder, der konstant sørger for at sende nyt materiale indad i Solsystemet. Det har længe været kendt, at der i fordelingen af asteroider i Asteroidebæltet som funktion af den halve storakse er en række huller, kaldet Kirkwood-gab, se figur 3. Hullerne ved 2,50 AE, 2,82 AE, 2,96 AE og 3,28 AE er sammenfaldende med resonanser mellem asteroidernes og Jupiters middelfastbevægelser (den reciprokke værdi af omløbsperioden). Dog findes der samtidig stabile øer af asteroider ved andre sæt af resonanser, som f.eks. Hilda-gruppen ved ca. 4 AE. For Kirkwood-gabenes vedkommende, formodes det at de opstår ved et kompliceret sammen-

spil med sekulære resonanser med Saturn og Jupiter, dvs. resonanser mellem meget langsomme precessioner af banerne [6]. En asteroide der således havner i et af Kirkwood-gabene, vil meget hurtigt undergå en eccentricitetsforøgelse, og vandre indad i Solsystemet, hvor den med tiden vil overgå til at blive en jordnær asteroide.

Da asteroiderne hurtigt udtynnes i Kirkwood-gabene, og da de jordnære asteroider endvidere har en relativt kort levetid, må der kontinuerligt være en levering af asteroider til Kirkwood-gabene, hvis ikke populationen af de jordnære asteroider hurtigt skal forsvinde, i modsætning til hvad vi observerer i dag. Men hvordan kan en asteroide pludselig havne i et af Kirkwood-gabene? Den tilsyneladende forklaring er langt mere underfundig end man først skulle tro. Igen formodes det at kollisioner spiller en væsentlig rolle. Ved kollision mellem to asteroider i Asteroiddebæltet, kan man tænke sig en situation med en delvis eller total fragmentering af den ene eller af begge asteroider. Nogle af de dannede fragmenter kan havne i baner forskellige fra de to moderlegemers, og dermed ende op i et af Kirkwood-gabene. Det leder os imidlertid til at formode, at der er en vis sammenhæng mellem udvalgte kollisioner i Asteroiddebæltet, og den tidlige variation af størrelsesfordelingen af de jordnære asteroider og i fluxen af meteoritter på Jorden. Set over lange tidsrum (mere end 100 millioner år), vil udsvingene muligvis være små i forhold til middelværdien i figur 2, men med en målelig effekt for os på Jorden (se [7]).

Denne forklaring er dog ikke fuldstændig. Det har vist sig, at ikke-gravitationelle, termiske kræfter kan spille en stor rolle for ændringen af en asteroides bane, og dermed for leveringen af materiale til Kirkwood-gabene. Et eksempel herpå er Yarkovsky-effekten, en termisk inhomogenitet, som bl.a. opstår når den side af asteroiden der peger mod Solen, og dermed opvarmes, roterer bort fra Solen, og afgiver sin varme i et koldere område [8]. Varmedefugningen vil dermed fungere som en lille raketmotor¹. En tilsvarende effekt (forårsaget af relativistisk aberration) kaldes Poynting-Robertson friktion. Selv om disse effekter er små, og dermed kræver lange tidsrum for en betydelig ændring af en asteroidebane, er det dog særligt karakteristisk at de er mest effektive på små asteroider. Desuden kan disse termiske kræfter forårsage en udvalgs effekt, da de bl.a. afhænger af materialets varmeledningsevne, og dermed af asteroidens sammensætning og taxonomiske type (jvf. [4]). Blandt de jordnære asteroider forventes derfor en relativ overhyppighed af visse typer asteroi-

der, frem for andre.

Det er således ikke muligt at sige noget om jordnære asteroiders kollisionshyppighed med Jorden, uden at have et bedre begreb om deres størrelsesfordeling. Omvendt har dette spørgsmål altså vist sig at være fundamentalt koblet til de processer der hersker i Asteroiddebæltet, og der er et kraftigt videnskabeligt incitament til at undersøge tingene nærmere. For de jordnære asteroiders vedkommende, vil vi forhåbentlig få mere information om størrelsesfordelingen af de 50 m - 1 km store jordnære asteroider, når det jordbaserede Pan-STARRS projekt i sin opstartsfas i 2006-2008 begynder at lede efter netop disse små asteroider².

Risikoanalyse

Også i risikoanalysen for den enkelte asteroide, finder vi et stort, udækket behov for mere viden. Risikoanalysen er i dag kvantiseret i form af henholdsvis den populært orienterede Torino-skala, og den tekniske Palermo-skala. Torino-skalaen³ klassificerer en asteroide ud fra det øjeblikkelige kendskab til asteroidens bane, og den øjeblikkelige sandsynligheden for at asteroiden rammer Jorden, samt asteroidens størrelse. Palermo-skalaen⁴ vurderer den aktuelle kollisionssandsynlighed for den enkelte asteroide i forhold til baggrundspopulationen. Som nævnt ovenfor, er den stadige sandsynlighed for at en asteroide kolliderer med Jorden lille, men ikke nul, og Palermo-skalaen vurderer det enkelte tilfælde i forhold til denne baggrundssandsynlighed.

Fælles for begge disse skalaer er at det ikke er nok at den enkelte asteroiden opdages, dens bane skal også bestemmes. Dette kan i sig selv være en udfordring, når der ikke er fleksibel adgang til teleskoper rundt om på Jorden. Specielt risikerer man at en asteroide blev opdaget mens den var lysstærkest, og at man derfor har brug for et betydeligt større teleskop, end det der blev anvendt til opdagelsen, for at kunne sikre en bestemmelse af banen [9]. Endvidere skal man kende asteroidens størrelse, hvilket bestemt ikke er trivielt at bestemme, da størrelsen igen afhænger af albedoen, som er både vanskelig og tidskrævende at bestemme.

Et karakteristisk træk ved risikoenalysen er derfor at man skal være omhyre varsom med at trække alt for store konklusioner fra den. For en nyopdaget jordnær asteroide vil man på det pågældende tidspunkt kun kende dens bane dårligt og have et ringe estimat af dens størrelse. Man kan derfor ikke lave en absolut risikovurdering, højst har man et groft skøn over hvor godt eller dårligt bestemt dens bane er, og en vurdering af sandsynligheden for en kollision med Jorden inden

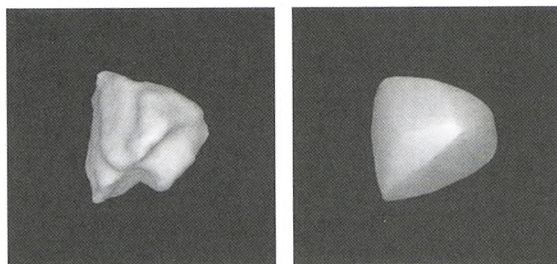
¹Yarkovsky-effekten har foranlediget forslaget om at man kan ændre banen af en asteroide med kurs mod Jorden, ved at male overfladen af asteroiden hvid. Dermed vil man kunne forstærke effekten af denne termiske raketmotor, men det vil kræve at man finder asteroiden i god tid. Apropos, har jeg som symbolsk gave fået foræret en bønne med 100 ml hvid maling, dog næppe nok til at udgøre et egentligt beredskab mod jordnære asteroider.

²Forventningerne til Pan-STARRS er for hver 7. dag at kunne afsøge hele den del af himlen der er synlig fra Hawaii til 24. størrelsesklasse. Projektet vil forventeligt finde 3000 nye asteroider per nat. For yderligere oplysninger, hold øje med: <http://pan-starrs.ifa.hawaii.edu/public>.

³Se f.eks. <http://impact.arc.nasa.gov/torino/prof.html>.

⁴Se <http://neo.jpl.nasa.gov/risk/doc/palermo.html>.

for den usikkerhed man har i fremskrivningen af banen. Alle disse tal ændrer sig, ofte drastisk, efterhånden som flere observationer af asteroiden giver en bedre bestemmelse af banen. Disse grove skøn berettiger langt fra de hyppigt anvendte dommedagsoverskrifter, men skal i stedet for opfattes som behov for flere observationer, for at kunne skaffe den egentlige risikoanalyse et tilstrækkeligt solidt grundlag. Når alarmerne som oftest straks kan afblæses, er det fordi astronomerne har arbejdet ihærdigt på at skaffe de nødvendige nye og mere præcise observationer af banen.



Figur 4. Formen af asteroiden (6489) Golevka. Billedet til venstre er baseret på radarobservationer, figuren til højre på klassiske optiske observationer af asteroidens lyskurve under forskellige geometriske forhold. Figur fra [13].

Som sagt er det dog ikke nok at bestemme asteroidens bane, vi bliver også nødt til vide noget om dens fysiske egenskaber, som minimum asteroidens størrelse og albedo, men også gerne dens geologiske sammensætning, rotationsperiode, orientering af rotationsaksen, samt dens form. Netop dette behov for et bredere aspekt i både risikoanalysen og i det videnskabelige samarbejde, har man særligt tydeligt erkendt i Europa. Den engelske regering nedsatte i år 2000 en arbejdsgruppe [10] med henblik på at udarbejde en sammenfattende rapport om vores nuværende viden om asteroider, problemets omfang, civile konsekvenser ved et nedslag, samt om mulige metoder til at imødegå en eventuel kollision, inkluderende en række konkrete anbefalinger. Dette var det første arbejde af sin art, og første gang at det blev påpeget at det ikke er nok blot at lede efter de farlige asteroider, men at vores erkendelse af kollisionsrisikoen involverer mange andre elementer. Især at der er tale om en global erkendelse og et global problem, som ikke kan overlades til et enkelt land at tage sig af. Af samme årsag blev der i 2002 nedsat en international arbejdsgruppe til at behandle emnet under OECDs Global Science Forum, hvis opgave er at analysere globale videnskabelige problemer ud fra de industrialiserede landes ønsker om rationel planlægning af ressourcerne. Denne arbejdsgruppes konklusioner peger også i retning af et globalt samarbejde om risikoanalysen, noget som er absolut fraværende i dag.

Et eksempel på et sådant samarbejde, som involverer andre elementer i risikovurderingen end den klassiske banebestemmelse, finder man i de nordiske lande Finland, Sverige, Norge og Danmark. Disse lande er fælles om et større projekt på det Nordisk-Optiske Teleskop

(NOT) på La Palma, som har som mål at afdække størrelse og form af en mængde jordnære asteroider, se figur 4. Projektet, ved navn Nordic NEON (Near-Earth Object Network) [11], støttes desuden i sommeren 2004 med observationer fra det danske 1.5 m teleskop i Chile, under Instrumentcenteret for Dansk Astrofysik (IDA). Udover det fundamentale videnskabelige aspekt af disse observationer, må både risikoanalysen og et eventuelt beredskab mod jordnære asteroider, ideelt set også basere sig på observationer af den art.

Konklusion

Vi har lært at se på kollisioner som en helt naturlig proces i forhold til den kosmiske tidsskala. Derfor er det klart, at asteroidenedslag vil forekomme i fremtiden. De lange tidsrum og potentielt enorme ødelæggelser gør det dog vanskeligt at vurdere risikoen i forhold til andre kendte naturkatastrofer som jordskælv, vulkanudbrud eller oversvømmelser.

Her er det dog nødvendigt at slå helt fast, at vi med vores nuværende viden om de jordnære asteroider, ikke har noget grundlag for at opildne til frygt eller panik for at vi er i overhængende fare for at blive ramt af en asteroide. Udgangspunktet for at studere asteroiderne er først og fremmest den videnskabelige ramme asteroiderne indgår i. Gennem dette arbejde lærer vi både en masse nyt om vores Solsystem, men også om kollisionsprocesserne, og om hvordan de påvirker Jorden. Samtidig ser vi at både bestemmelsen af den nuværende kollisionshyppighed, samt den efterfølgende risikoanalyse, kan gøre stærkt brug af den videnskabelige viden om asteroider. Denne kobling medvirker at en egentlig risikoanalyse må og skal baseres på et videnskabeligt fundament, og at kollisioner med Jorden ikke kan betragtes som et isoleret problem. Et program som det kommende Pan-STARRS, netop rettet mod afdækning af kollisionshyppigheden, vil samtidig være stærkt medvirkende til at øge vores viden om asteroiderne.

Litteratur

- [1] C.R. Chapman, D. Morrison (1994), Impacts on the Earth by asteroids and comets: assessing the hazard. *Nature* bind 367, side 33.
- [2] J.L. Jørgensen, A.C. Andersen, H. Haack, R. Michelsen (2002), Bering - en lille rumsonde med et stort navn. Danmarks første deep-space mission. *KVANT* bind 2, side 26.
- [3] LINEAR: www.ll.mit.edu/LINEAR/
- [4] R. Michelsen, J.L. Jørgensen, H. Haack, A. Andersen (2002), Asteroider meteoritter og Bering. *KVANT* bind 1, side 15.
- [5] S.C. Werner, A.W. Harris, G. Neukum, B.A. Ivanov (2002), The Near-Earth Asteroid size-frequency distri-

bution: A snapshot of the lunar impactor size-frequency distribution. *Icarus* bind **156**, side 287.

- [6] M. Moons, A. Morbidelli (1995), Secular resonances in mean motion commensurabilities: The 4/1, 3/1, 5/2 and 7/3 cases. *Icarus* bind **144**, side 33.
- [7] H. Haack, P. Farinella, E.R.D. Scott, K. Keil (1996), Meteoritic, asteroidal and theoretical constraints on the 500 Ma disruption of the L chondrite parent body. *Icarus* bind **119**, side 182.
- [8] W.F. Bottke Jr., D. Vokrouhlický, D.P. Rubincam, M. Brož (2002), The effect of the Yarkovsky thermal forces on the dynamical evolution of asteroids and meteoroids. Findes i: W.F. Bottke Jr., A. Cellino, P. Paolicchi, R.P. Binzel (eds.), *Asteroids III* (2002), The University of Arizona Press, side 395.
- [9] A. Boattini, G. D'Abramo, H. Scholl, O.R. Hainaut, H. Boehnhardt, R. West, M. Carpino, G. Hahn, R. Michelsen, G. Forti, P. Pravec, G.B. Valsecchi, D.J. Asher (2004), Near Earth Asteroid search and follow-up beyond 22nd magnitude. A pilot program with ESO telescopes. *Astronomy & Astrophysics* bind **418**, side 743.

[10] The NEO Information Centre:
www.nearearthobjects.co.uk.

[11] Nordic NEON:
Hjemmeside, folk.uio.no/tommygr/ngspb.html;
Obs., www.astro.helsinki.fi/~psr/NEO/not_obs.html.

[12] M. Kaasalainen, S. Mottola, M. Fulchignoni (2002), Asteroid models from disk-integrated data. Findes i: W.F. Bottke Jr., A. Cellino, P. Paolicchi, R.P. Binzel (eds.) *Asteroids III* (2002), The University of Arizona Press, side 139.



René Michelsen er phd.-studerende i astronomi ved Niels Bohr Institutet fAFG, Københavns Universitet, med speciale i jordnære asteroider.

KVANT-nyheder

Michael Cramer Andersen

Exoplanet på bare 14 jordmasser opdaget

Et hold af astronomer fra Portugal, Frankrig og Schweiz har opdaget en exoplanet på blot 14 gange Jordens masse. Planeten kredser omkring stjernen μ Arae, der befinder sig 50 lysår fra Jorden. Det er den hidtil letteste exoplanet – omtrent som planeten Uranus – idet de tidligere opdagede exoplaneter har masser på over 60 gange Jordens masse og de fleste på flere hundrede gange Jordens masse. Opdagelsen blev gjort med instrumentet HARPS, der kan måle radialhastigheder med en præcision på bedre end 1 m/s. Instrumentet er installeret på ESOs 3,6 meter teleskop på La Silla i Chile og der er afsat 100 observationsnætter hvert år i fem år med det formål at opdage stadigt mindre exoplaneter. I forhold til det tidligere anvendte CORALIE-instrument, er observationstiden reduceret 100 gange og nøjagtigheden forøget 10 gange.

Der var allerede detekteret en planet af Jupiter-

størrelse med en omløbstid på 650 døgn omkring stjernen μ Arae. Astronomerne ville bekræfte dette og bestemme baneparametrene med HARPS. Det afgørende var dog, at de samtidig undersøgte stjernens akustiske oscillationer indenfor det der kaldes astero-seismologi. Det var i analysen af disse 8 dage lange observationer, at en ny planet dukkede op med meget kort omløbstid – bare 9,5 dage.

Man ved intet om den nye planets fysiske opbygning. Den kan i princippet ligne Uranus som er opbygget af gas med en fast kerne af is. Men den korte omløbstid betyder, at planeten er meget tættere på stjernen og det er derfor mere sandsynligt, at det er en "Super-Jord" bestående af faste klipper og måske en tyk atmosfære ligesom Venus? Opdagelsen er et vigtigt skridt i retning af at finde jordlignende planeter.

Kilde: www.eso.org/outreach/press-rel/pr-2004/pr-22-04.html

Mars Express måler vand og metan nær ækvator

Analysen af data fra den europæiske rumsonde Mars Express har for nylig vist et overlap mellem koncentrationen af vanddamp og metan. Målingerne er foretaget med Planet Fourier Spektrometret. I 10-15 km højde findes vanddamp næsten overalt i atmosfæren, men tættere på overfladen er vanddampen 2-3 gange mere koncentreret i tre brede områder nær ækvator: Arabia Terra, Elysium Planum og Arcadia-Memnonia. I disse områder har NASA's Odyssey rumsonde fundet vand lige under overfladen. Koncentrationen af metan er størst i de samme områder og de to gasser kommer derfor sandsynligvis fra den samme kilde.

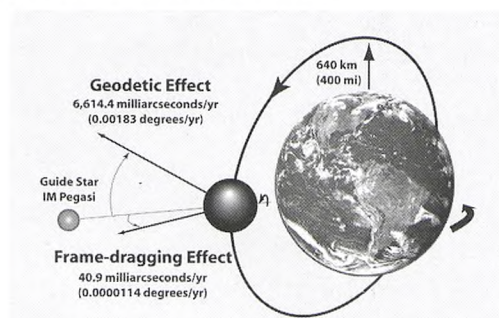
Forskerne diskuterer nu om det er geologiske opvarmningsprocesser, der er årsag til fordampningen og om der måske findes flydende vand under islaget? Kan bakterielt liv eksistere her og producere metanen?

Den 15. september var Mars knap 400 mio. km væk, på den modsatte side af Solen i forhold til Jorden – dvs. i konjunktion. Hvis en kommando til rumsonden var blevet sendt igennem Solens korona, der er et elektromagnetisk meget aktivt område, kunne dele af kommandoen være gået tabt med uforudsigelige konsekvenser. Alle systemer blev derfor sat på pause fra 22. august til 27. september, hvor Mars havde passeret bag om Solen. Det var bedre at undvære data i en periode end at risikere at miste kontakten med rumsonden.

Kilder: Pressemeld. den 20/9 og 27/9 2004, www.esa.int/export/SPECIALS/Mars_Express/SEML131XDYD.0.html; www.rummet.dk/91e2774

Rumsonden Gravity Probe B tester relativitetsteori

Den amerikanske rumsonde "Gravity Probe B", opsendt den 4. april, har fået kalibreret sine fire gyroskoper. Rumsonden er nu indstillet mod en guidentjerne og er begyndt på den videnskabelige fase som skal teste Einsteins generelle relativitetsteori.



Figur 1. Den sorte kugle repræsenterer ét af gyroskoperne på rumsonden "Gravity Probe B", der bevæger sig i den sorte bane, mens den peger i retning mod guidentjernen IM Pegasi, for at teste Einsteins generelle relativitetsteori.

Gyroskoperne skal sørge for, at fastholde rumsondens retning i forhold til guidentjernen, "IM Pegasi". Stjernen lyser meget kraftigt i mikrobølgeområdet og derfor kan dens position, relativt til fjerntliggende kvasarer tæt på i synsretningen, bestemmes meget

nøjagtigt ved hjælp af radioteleskoper med stor basislinje på Jorden. Sammen med rumsondens målinger vil guidentjernens position og middelegenbevægelse i forhold til fjerne kvasarer blive bestemt med en nøjagtighed på omkring 0,1 millibuesekund per år eller 1/36.000.000 grad per år! Det er tilstrækkelig nøjagtigt til, at teste de finere detaljer forudsagt af generel relativitetsteori – bl.a. de grundlæggende antagelser om rummets og tidens struktur.

Einsteins generelle relativitetsteori forudsiger f.eks. at et massivt legeme som Jorden ganske langsomt *trækker rummet med rundt* – næsten ligesom vandet der løber ud i et afløb – en effekt der kaldes "frame-dragging". For Gravity Probe B, der kredser omkring Jorden i en polarbane ca. 640 km over overfladen, beløber det sig til ca. 40,9 millibuesekunder per år eller 0,0000114 grader per år. I en polarbane påvirkes rumsonden – til første ordens tilnærmelse – ikke af Jordens rotation. Det er således et nærmest perfekt Foucault-pendul. Men ved at måle ændringerne i gyroskopernes spin-retninger kan man bestemme, hvor meget gyroskoperne påvirkes af den omkringliggende masse – primært Jorden – og derved bestemme om forudsigelserne fra generel relativitetsteori holder stik.

Da rumsonden skulle sendes op med en Delta raket fra Vandenberg raketbasen i Californien, var opsendelsesvinduet kun på ét sekund. Rumsondens bane skulle nemlig være rettet mod guidentjernen med en præcision på plus/minus 0,04 grader. Rakettens vinkel skulle derfor også indstilles med en nøjagtighed på brøkdele af en grad og der skulle heller ikke være alt for kraftig vind den dag. I sandhed et eksperiment med store krav til præcision! Rumsondens levetid er 8-9 måneder og vi må vente lidt på resultaterne.

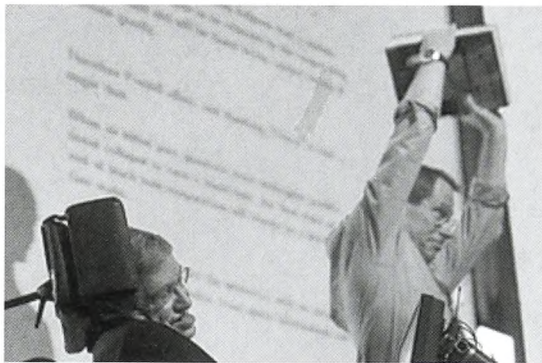
Kilde: einstein.stanford.edu

Informationsparadokset for sorte huller løst

Klassiske sorte huller kan opfattes som områder af rummet, hvor stof og energi kan forsvinde for evigt. Hvad der føres ind kan aldrig komme ud igen. Da end ikke lys kan undslippe fik de navnet *sorte huller*.

Da Stephen Hawking i 1974 anvendte kvantemekanikken på teorien om sorte huller fandt han, at de kunne udsende termisk stråling og tabe deres masse gennem den såkaldte "Hawking-stråling". Sorte huller var altså ikke helt sorte. Problemet var dog, at sorte huller der udsender stråling, udover at spise stof og energi tilsyneladende også spiser kvantemekanisk information. Dette strider imidlertid imod fundamentale love der siger, at informationen bevares i takt med at universet udvikler sig. Således opstod informationsparadokset for sorte huller. Mange har prøvet at finde en løsning og Hawking indgik sammen med Kip Thorne (ekspert i gravitationelle bølger) et væddemål med John Preskill (ekspert i kvanteinformation) om, at informationen i et sort hul aldrig kan komme ud. Taberen skulle give vinderen en encyklopædi, efter eget valg, hvorfra informa-

tion kan hentes efter ønske.



Figur 2. John Preskill triumferer med sin præmie – en “baseball encyklopædi” over hovedet, efter Hawking har erkendt at han tog fejl. Foto: Time Magazine.

Hawking har nu erkendt, at han har tabt dette væddemål. Ved den 17. konference om relativitetsteori “GR17 – Dublin 2004”, holdt han et foredrag hvori han opløste paradokset. Overfladen af et sort hul, defineret ved begivenhedshorisonten, fluktuerer kvantemekanisk og dette tillader gradvist al informationen i et sort hul at slippe ud mens hullet fordamper. Hawking viste, at sorte huller bevarer kvantemekanisk information både når de dannes og når de fordamper.

En vigtig følge af dette er, at *et sort hul ikke sender nogen information ud af universet* når det dannes. Hawking fjerner dermed håbet hos mange science fiction fans om, at man kan rejse til andre universer ved at hoppe ned i et sort hul. Hvis man hopper ned i et sort hul vil ens masse og energi blive returneret til vores univers, blot i en forstyrret og uigenkendelig form! Dette resultat er også en alvorlig kritik af f.eks. Smolins teori om, at sorte huller skulle afføde nye universer.

Kilder: IoP News 21/7-04, www.iop.org/news/783; GR17-Dublin 2004 Conference, gr17.com; Hawkings foredrag, www.dcu.ie/~nolanb/gr17_plenary.htm; Referat af John Baez, math.ucr.edu/home/baez/week207.html

Nobelpris i fysik 2004

Årets nobelpris i fysik blev givet til David J. Gross, H. David Politzer og Frank Wilcek “for opdagelsen af asymptotisk frihed i teorien for den stærke vekselvirkning”. Den stærke vekselvirkning binder kvarker sammen i f.eks. protoner og neutroner. Kvarkerne antages at have en såkaldt farveladning (rød, grøn eller blå) og denne ombyttes med en anden kvark via gluoner ca. 10^{23} gange hvert sekund. Teorien bag kaldes kvantekromodynamik. Kvarkernes interne bevægelse i kernepartiklerne udgør over 80% af kernepartiklernes masse.

Kvarkernes hvilemasse er derfor kun en lille del af massen.

De tre nobelpristagere fandt ud af, at kvarkerne opførte sig som frie partikler ved meget høj energi – f.eks. i højenergi partikelkollisioner. Ved de lavere energier der normalt hersker i kernepartiklerne er kvarkerne bundne. Den teoretiske beskrivelse af kvarkernes asymptotiske frihed – når man går til højere energi – bidrog også til at forene de tre atomare vekselvirkninger, der tilsammen kaldes Partikelfysikkens Standardmodel.

Kilde: nobelprize.org/physics/laureates/2004/

Cirkus Naturligvis overlever endnu 3 år

Formidlingssuccessen “Cirkus Naturligvis” på Københavns Universitet overlever i hvert fald 3 år endnu takket være en bevilling på 350.000 kr per år fra Novozymes, et par mindre sponsorer og Det naturvidenskabelige Fakultet, Københavns Universitet, der skyder 50% oven i de eksterne bevillinger.

Cirkus Naturligvis besøger grundskoler på Sjælland og øerne og giver eleverne en dag i naturvidenskabens tegn. De studerende fra biologi, fysik, kemi, biokemi, geografi og geologi, som tager ud på skolerne får samtidig erfaring med formidling.

Kilde: www.naturligvis.dk; “Cirkus Naturligvis overlever” den 26/8 2004, www.magisterjob.dk/sw30733.asp

KVANT søger nyhedsredaktør

Kunne du tænke dig at skrive nyheder til KVANT er posten nu ledig, idet den hidtidige nyhedsredaktør er blevet redaktør. Nyhederne bør dække områderne astronomi, fysik og geofysik og skrives så de kan forstås af en bred læserskare. Skriv til kvant@kvant.dk for at høre nærmere om aflønning m.m.

Er der huller i din KVANT-samling?

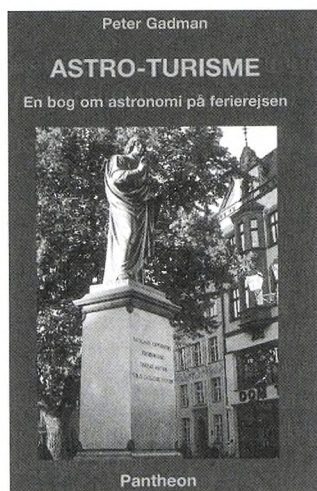
Mangler du ældre numre af KVANT, kan de bestilles for 5 kr/stk. plus forsendelse på: kvant@kvant.dk (forbehold for udsolgte numre).

Der er også enkelte næsten komplette samlinger som kan købes for 500 kr.

Aktuelle bøger

“Astro-turisme” – astronomi på ferierejsen

Forfatter *Peter Gadman*. Forlaget *Pantheon* 2004. 143 sider, ill., 197,50 kr.



“Astro-turisme” handler om nogle af de mest kendte astronomer, deres liv og levned, deres observationer, samt hvor man kan finde deres huse, observatorier, museer, mindesmærker m.m. Bogen fortæller også, hvor det er godt at studere stjerner og nyttige ting der er værd, at vide når man kikker på stjerner på sin ferie, som f.eks. hvordan man beregner, hvor meget af den sydlige stjernehimmel man kan se fra feriestedet.

I de første 8 kapitler fortæller forfatteren om 8 forskellige astronomer. Regiomontanus som anvendte det første astronomiske observatorium i Europa, Kopernikus som fandt ud af, at Jorden roterede om Solen og ikke omvendt og danske Tycho Brahe som mente, at Solen kredsede om Jorden, mens de andre planeter kredsede om Solen. Dernæst hører man om Galilei som var den første kendte astronom der brugte en kikkert til studier af himlen, Kepler som skrev de tre love om planeternes omløb om Solen, og Hevelius som havde et ekstra skarpt syn og derfor kunne se ting, som andre folk ikke kunne se, bl.a. stjerner som var langt væk. Til sidst hører man om Herschel, som byggede sine egne kikkerter og opdagede planeten Uranus, og Rosse, som mest blev kendt for, at have bygget verdens største kikkert.

De mest interessante astronomer er efter min mening Kopernikus, Galilei, Brahe og Kepler, og her er Kopernikus særlig interessant, fordi han både var astronom, matematiker, filolog, jurist, økonom og læge. Det var stort set alle de uddannelser, man kunne tage på daværende tidspunkt. Det var også ham, som fandt ud af, at Jorden kredsede omkring Solen og han var endda mere troende end mange andre astronomer. Kopernikus vidste godt, at det kunne give problemer med kirken, hvis han offentliggjorde dette, så han sørgede for at

skrive et forord til paven i sin bog. Men han havde udført mange beregninger, som støttede hans konklusion om Jordens bevægelse, og han havde også et slående argument: “at det enormt store univers skulle rotere på 24 timer ville forbavse os endnu mere end en rotation af dets mindste del, som er Jorden”.

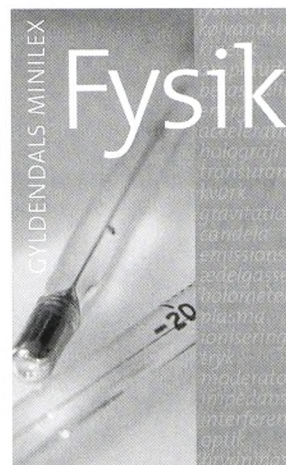
I “Astro-turisme” er der anvisninger på, hvor man kan finde de forskellige astronomers museer og mindesmærker, og der er en god beskrivelse af, hvordan man kommer til de forskellige byer. Især er der en del astronomer fra Tyskland og Polen, så hvis man er interesseret i astronomi og skal til Tyskland eller Polen, vil bogen være god at have med. Samtidig er der også tips om, hvad man skal gøre, hvis man gerne vil se på stjerner, mens man er på ferie. F.eks. er det vigtigt, at hotellet ikke ligger i byen, hvor der er meget lys, men ude på landet hvor der er mørkt, og det er vigtigt, at rejse mens det er nymåne, så månen ikke forstyrrer.

Jeg synes, at bogen er rigtig spændende og kan godt anbefale den til andre, som gerne vil vide mere om de store astronomer, og måske får lyst til at besøge nogle af de steder, hvor astronomerne levede og arbejdede.

Christine Pepke Pedersen, 9d, Lillerød Skole.

“Gyldendals Minilex – Fysik”

Forfatter *Anders Smith og Henrik Smith*. Forlaget *Gyldendal* 2004. 170 sider, illustreret, ca. 175 kr.



I denne lille tætskrevne bog findes over 1300 opslag med forklaringer på begreber i fysikken. Der er lagt vægt på de grundlæggende principper og idéer og den historiske dimension er dækket ind flere steder. Der er f.eks. minibiografier af mange fremtrædende fysikere, bl.a. nobelpristagere som også allesammen er samlet i en fyldig tabel i et appendiks. Bagest i bogen findes også oversigter over fundamentale fysiske konstanter, det græske alfabet og enhedspræfikser.

Opslagsordene spænder vidt – fra “aberration” til “æteren”, fra “Ampère” til “Ørsted”, fra “absolut nulpunkt” til “ædelgasser”. Der er naturligvis klassiske begreber med, som “vægtstangsprincippet” og mange nye begreber, som nok ikke findes i tilsvarende ældre værker, f.eks. “inflationsteori”, “nanoteknologi”, “strengteorien” og “Z-partikel”.

Nogle ord, der kendes fra hverdagen, vil nok umiddelbart overraske: “skygge”, “spejl” og “sæbeboble”, men de har en særlig betydning i videnskaben som gør dem fortjent til omtale. Der er også kommet et legetøj med: “kalejdoskop”, men man savner et andet kært fysikerlegetøj: tippetoppen.

Blandt fysikerbiografierne findes undertiden henvisning til nogle af de populære bøger de har forfattet, f.eks. Murray Gell-Manns “Quarken og jaguaren”. Det er positivt, men der er alt for få sådanne henvisninger til hvor man kan fortsætte hvis man har fået vakt interessen. Der kunne også være billeder af personerne og måske henvisninger til supplerende litteratur.

Forfatterne har igennem mange år været tilknyttet Den Store Danske Encyklopædi og Gyldendals Leksikon, hvortil mange af artiklerne oprindeligt er skrevet. Det er en fremragende idé, at samle og opdatere artiklerne til et minileksikon som dette. Det kan anbefales til alle der er interesseret i fysik.

MCA

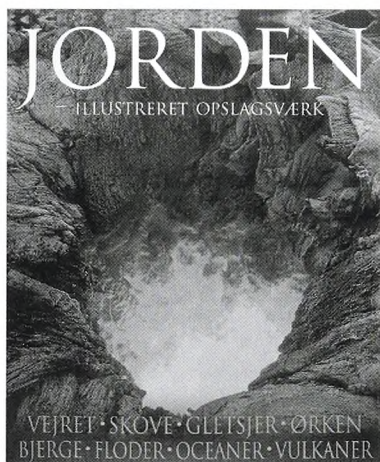
I kapitlet “Jorden forandrer sig” kan man f.eks. læse om Tektoniske plader, Pladegrænser, Nedbrydning, Erosion, Aflejring, Massebevægelse (f.eks. jordskred), Meteoritnedslag, Vandkredsløbet og Livets påvirkning af Jorden. Altsammen illustreret utrolig flot og forklaret med anskuelige figurer.

Men det er ikke bare en billedbog. Bogens tekst er både inspirerende og fuld af interessante oplysninger. Der er f.eks. et 18 siders kapitel med et leksikon over mineraler med billeder og beskrivelser af de vigtigste og flotteste. Bogen kan således også være et nyttigt opslagsværk.

MCA

“Jorden – Illustreret opslagsværk”

Forlaget *Globe*, www.globe.dk, 2004. 520 sider, illustreret, 349 kr.



Dette overdådige billedværk beskriver vores planet Jorden. I et væld af billeder og i korte velskrevne tekster gennemgås alle aspekter af vores planet: “Jordens historie”, “Jorden i rummet”, “Jordens anatomi”, “Jorden forandrer sig”, “Bjerge og vulkaner”, “Floder og søer”, “Gletsjere, Ørkener, Skove”, “Oceaner og have”, “Klima”, “Vejret” og “Jordens pladetektonik”.

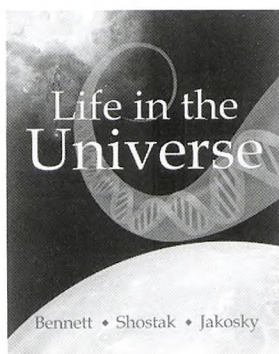
Astrobiologi-bøger og links

Michael Cramer Andersen.

Life in the Universe

Af J. Bennett, S. Shostak og B. Jakosky. Addison Wesley 2003. 392 sider, illustreret.

"Life in the Universe" er en amerikansk lærebog der introducerer astrobiologien. Den henvender sig til universitetsstuderende på første år men vil også være et godt køb for andre interesserede, der kan læse engelsk.



I fire kapitler introduceres emnerne: "Liv i Universet", "Liv på Jorden", "Liv i Solsystemet" og "Liv mellem stjernerne". Bogen introducerer først begreber som stjerner, planeter, atomer og grundstoffer og der er afsnit om astronomiens historie.

I afsnittet om livet på Jorden diskuteres evolution, definition af (kulstofbaseret) liv, stofskifte, nedarvning, mutationer og evolution samt liv i ekstreme miljøer.

Fra biologien springes nu til geologien, hvor Jordens geologiske historie beskrives. Her er emnerne radioaktive henfaldsserier, Jordens dannelse og opbygning samt Månens dannelse. Dannelsen af atmosfæren og oceanerne diskuteres også sammen med pladetektonik og drivhuseffekt.

Herefter vendes blikket mod livets opståen og udvikling på Jorden helt frem til mennesket dukker op. Med dette grundlag ridset op, beskrives eftersøgningen af liv i vores Solsystem – først med en diskussion af hvad liv kræver. Det værktøj som benyttes i denne udforskning (teleskoper og rumsonder) beskrives kort.

Mars har fået sit eget kapitel idet Mars må anses for at være den planet der har flest lighedspunkter med Jorden og derfor har Mars også fået besøg af flest ubemandede rumsonder. Dette kapitel afsluttes med en beskrivelse af menneskets fremtidige udforskning af Mars og hvordan Mars kan terraformes.

Et kapitel handler om måner, der har potentiale for liv, primært Jupiters fire største måner og Saturns måne Titan. Jupiters måner indeholder hver især en

del vand, i form af is. Noget af denne is er sandsynligvis smeltet pga. tidevandskræfterne fra Jupiter og indbyrdes mellem månerne. Hvis flydende vand er en afgørende betingelse for liv, er disse miljøer derfor meget interessante for astrobiologer.

Hvad vil det sige, at en stjerne har en beboelig zone? Dét er emnet for næste kapitel, hvor det bl.a. diskuteres hvad der gik galt med Venus, som ellers ligger ganske godt med mulighed for flydende vand og dermed liv. Men drivhuseffekten løb løbsk. Der er således mere end 500 grader varmere på Venus end der ville være uden opvarmning fra drivhuseffekten! På Jorden har drivhuseffekten kun øget temperaturen med ca. 32 grader. Uden drivhuseffekten ville gennemsnits-temperaturen på Jorden være -17°C . Livets fremtid på Jorden diskuteres og det beskrives hvordan Solen vil dø og måske tilintetgøre Jorden samtidig.

Søgningen efter beboelige verdener, dvs. planeter eller måner, har været i gang i årtier hvis ikke århundreder. Vi har nu kendskab til adskillige exoplaneter – planeter udenfor vores Solsystem, men repræsenterer de et godt sammenligningsgrundlag eller er de særtilfælde som skyldes de metoder der er anvendt til at opdage dem? (dette spørgsmål diskuteres i artiklen side 12). Efter opdagelsen af godt hundrede exoplaneter på knap 10 år er vi først lige begyndt at besvare spørgsmålet om hvorvidt jordlignende planeter er sjældne eller almindelige?

Hvor udbredt er intelligent liv i Universet? Her er vores uvidenhed sat på formel: Drakes ligning. Størrelsen af de enkelte parametre kan diskuteres og man kan prøve at beregne hvor mange intelligente civilisationer der findes i vores Galakse. Dette kan bruges til at vurdere hvor sandsynligt det er, at vi f.eks. opfanger radiosignaler udsendt af en anden intelligent art (kommunikation mellem galaktiske civilisationer kan også foregå med korte pulser af synligt lys eller med flaskepost). SETI-forskningen har gennemført store dele af himlen på mange frekvenser, men har ikke fundet et vedvarende signal der kan fortolkes som et intelligent signal. Hvis vi en dag får isoleret et interplanetarisk budskab fra baggrundsstøjen (ligesom i Carl Sagens roman "Contact") står vi overfor den udfordring det er, at decifre budskabet. Der er utrolig mange måder man kan kommunikere på – tænkt blot på hvor mange sprog mennesket bruger.

Bogen afsluttes med et kapitel om interstellare rejser. Først de ubemandede Pioneer og Voyager rumsonder. Derefter nævnes forskellige raketfremdriftsteknologier – kemisk, kerneenergi, ioner, sollys, lasere og stof-antistof annihilation. Endelig nævnes hvordan relativitetsteorien vil påvirke rejser nær lysets

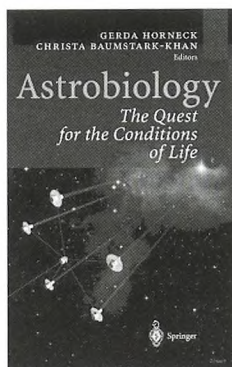
hastighed og spekulationerne omkring rejser gennem ormehuller/sorte huller – det såkaldte "Warp Drive". Bogen slutter med at diskutere UFO'er som et muligt bevis for, at vi allerede har fået besøg af fremmede.

Bogen er krydret med henvisninger til film og science fiction litteratur, der sætter emnerne i et større perspektiv og her er der rigeligt plads til, at læseren kan drømme videre. Denne blanding af fakta og fiktion er lidt farlig da det kræver, at læseren er i stand til at skelne mellem fantasi og virkelighed. Disse afsnit bør således læses ekstra kritisk. En anden svaghed ved bogen er, at den inddrager så mange perspektiver, at den kan virke for overfladisk. Men bortset fra disse kritikpunkter er bogen en udmærket introduktion.

Bogen har en samling links til astrobiologiwebsteder.

Astrobiologi: The Quest for the Conditions of Life

Af G. Horneck, C. Baumstark-Khan (eds.). Springer-Verlag 2001. 403 sider, illustreret. Hele bogen findes elektronisk på nettet¹ og kan således hentes gratis!



Denne bog har hele 54 forfattere, der er eksperter på forskellige felter. Selv om den har tre år på bagen fortjener den omtale da den kommer vidt omkring, har et højt fagligt niveau og er frit tilgængelig på internettet.

Første del handler om "Organisk materiale i rummet og beboelige zoner". Her behandles bl.a. molekylskyer, protoplanetariske skiver, kometer, meteoritter og det tidlige Solsystem. Herefter beskrives diversiteten af extrasolare planeter, et afsnit der desværre må siges at være lidt forældet allerede. Modeller for den beboelige zone i exoplanetsystemer diskuteres og det vurderes om bakterielt liv kan overleve i vakuum og måske overføres imellem legemer i Solsystemet eller længere ud.

Andel del handler om "Vand og liv". Vand er et stof med mange egenskaber samlet i det samme stof. Vand er et godt opløsningsmiddel, det kan danne ler og vand strukturerer biopolymerer. Det diskuteres også om liv kan eksistere uden vand – f.eks. på Titan. Et afsnit handler om vand-relateret erosion på Mars. Her må man igen sige, at der er kommet betydelige nye opdagelser siden 2001, med f.eks. Mars-roverne. Efter et afsnit om Jupiter-månen Europas mulige oceaner diskuteres diversiteten af liv i permafrost og i kolde

søer. Dernæst diskuteres (hypertermofile) mikroorganismer som er tilpasset meget varme miljøer og mikroorganismer der lever i meget salte miljøer.

Tredje del handler om "Stråling og liv". Hvor forsvandt vandet på Mars hen? Dette spørgsmål hænger sammen med tilstedeværelsen af en atmosfære, og Mars' atmosfære er blevet væsentlig tyndere pga. stråling fra Solen og kosmisk stråling. Især ultraviolet stråling er af stor betydning for atmosfærens udvikling både på Mars, på Jorden og andre planeter. På Jorden har vi heldigvis et beskyttende ozonlag. Dette er bare et eksempel på, at ultraviolet stråling har biologisk betydning. Ultraviolet stråling kan desuden fremme dannelsen af komplekse kemiske forbindelser og derfor er f.eks. kometer meget interessante idet de eksponeres for ultraviolet stråling hver gang de passerer Solen.

Fjerde del handler om "Tyngdekraften og liv", dvs. hvordan celler påvirkes af tyngdeaccelerationen, som kan variere stærkt fra en stor planet som Jorden til næsten ingen tyngdekraft i rummet. Planter vokser som bekendt opad – dvs. *imod tyngdekraften*, for bl.a. at få lys der typisk kommer oppefra. Der er afsnit der handler om hvordan dyrenes opbygning udfordrer tyngdekraften.

Femte del handler om "Kompleksitet og liv". Mange systemer i naturen viser tegn på skalering gennem potensfunktioner (power laws). Disse lovmæssigheder opstår typisk når mange partikler vekselvirker og der gennem selvorganisering opstår en ny kompleksitet. Den største udfordring er nok at forklare hvordan molekyler som aminosyrerne via selvorganisering eller mineraloverflader, har kunnet samle sig selv til proteiner. Moderne celler får hjælp af DNA og RNA, men hvordan blev de første funktionelle proteiner og DNA-strengene dannet? Findes der fossilt materiale, der kan hjælpe med opklaringen? Disse emner diskuteres i femte del.

Sjette del gennemgår fremtidige rummissioner som er relevante for astrobiologien. Eftersøgning af exoplaneter vil komme op i meget højere gear med missionerne: GAIA, COROT, EDDINGTON, KEPLER og DARWIN. Der er også mange interessante rumsonder på vej, der skal udforske planeter, måner og kometer i vores Solsystem: Cassini/Huygens, Stardust, Rosetta, adskillige Mars-missioner, Europa-missioner osv.

Man kan godt blive overrasket over, hvor vidt forgrenet astrobiologien egentlig er og hvor hurtigt den udvikler sig! Der er som antydning rigtig mange emner der bliver diskuteret og det er på et relativt højt fagligt niveau. Hvis man allerede er interesseret i astrobiologi kan bogen sikkert byde på emner der vil skærpe interessen yderligere. Enkelte afsnit vil kunne bruges i undervisningen i gymnasiet, men ellers skal man have studeret et naturvidenskabeligt fag et par år for rigtigt at få udbytte.

¹ www.eid.dlr.de/me/Institut/Abteilungen/Strahlenbiologie/pdf/astrobiologie/

Astrobiology: Future Perspectives

– Astrophysics and Space Science Library, Vol. 305.
Af *P. Ehrenfreund m.fl.* (eds.). Springer-Verlag 2004.
525 sider, ill. Kan bestilles på www.springeronline.com

Denne bog indeholder helt nye oversigtsartikler over de væsentligste emner indenfor astrobiologien bl.a.:

Dannelsen af grundstoffer og stjerner;
Organiske molekyler i det interstellare medium;
Planetdannelse;
Fra kulstof til makromolekylære netværk i rummet;
Den molekylære kompleksitet i kometer;
Vand og organiske molekyler i Kuiper bæltet;
Fossilt tidligt liv på Jorden;
Kemien bag livets opståen;
Mars, Europa og videre ud;
Astrobiologi i USA og Europa;
Fremtidige perspektiver og strategier i astrobiologien.

Man skal nok være forsker for at købe denne bog, da artiklerne ellers er for tekniske.

Links til astrobiologi websteder

Astrobiologi generelt:

www.spaceflight.esa.int/exobio/

Det Europæiske Rumfartsagentur, ESAs oversigt over astrobiologiske aktiviteter og udforskning af planeter.

origins.jpl.nasa.gov – NASAs ORIGIN Program.

www.nordita.dk/conference/AstroBio2004/

Norditas workshop – “Astrobiological problems for physicists”, afholdt januar 2004 – flere gode links.

nai.arc.nasa.gov – NASA Astrobiology Institute (NAI).

astrobiology.arc.nasa.gov – Astrobiology at NASA.

cmex-www.arc.nasa.gov/VikingCD/Puzzle/Evolife.htm
Livets oprindelse og udvikling fortalt i en tegning.

www.astrobiology.com – Online guide til liv i Universet.

small.astrobio.terc.edu/Links/links.cfm?which=General
The Astrobiology Curriculum Links.

planetary.org – The Planetary Society.

SETI – søgen efter intelligent liv i rummet:

www.seti.org – SETI Instituttet – studerer liv i Universet.

skyandtelescope.com/resources/seti
Sky & Telescopes temasider om SETI.

www.planetarysystems.org/drake_equation.html
Interaktiv side hvor man kan beregne Drakes Ligning.

www.matessa.org/mike/messages.html

Interstellare meddelelser der er udsendt fra Jorden.

Udforskning af planeter i Solsystemet:

www.systime.dk/cd/orbit/deniplaneter/nineplanets/nineplanets.html

Oversigt på dansk over Solsystemet, oversat fra Bill Arnett's “Nine Planets”, www.nineplanets.org.

solarsystem.nasa.gov/planets – Solsystemet.

cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mpc.html – Minor Planet Center med information om asteroider m.m.

www.jpl.nasa.gov/missions – Igangværende JPL Missioner – se f.eks. Voyager 1 og 2, der er på vej ud af Solsystemet.

saturn.jpl.nasa.gov/home – Cassini/Huygens (Saturn/Titan).

marsrovers.nasa.gov/home – Mars Exploration Rovers.

mars.jpl.nasa.gov/classroom/students.html

NASAs sider om Mars for studerende.

mars.esa.int – ESAs sider om Mars Express.

Planlagte rummissioner:

www.kepler.arc.nasa.gov – Kepler (ca. 2007).

sim.jpl.nasa.gov – Space Interferometry Mission (ca. 2009).

ast.star.rl.ac.uk/darwin/Welcome.html – Darwin (ca. 2015).

planetquest.jpl.nasa.gov/TPF/tpf_index.html
Terrestrial Planet Finder (ca. 2014-2020).

Exoplaneter og asteroider:

www.exoplanets.org – Data for exoplaneters baner m.m.

www.princeton.edu/~willman/planetary_systems
Kendte Exoplanet systemer - med afstande.

cfa-www.harvard.edu/planets – Exoplanet leksikon.

Evolution og livets kemi:

www.tolweb.org/tree – The Tree of Life, stamtræ for liv.

www.webelements.com – Periodisk System (grundstofdata).

www.webminerals.com – Beskrivelser af mineraler.

da.wikipedia.org – Gratis encyklopædi (noget oversat til dansk). Se f.eks. opslag om liv (biologi).

en.wikibooks.org – Introduktioner: biokemi, astronomi m.m.

www.cv.nrao.edu/~awootten/allmols.html
De 125 rapporterede interstellare molekyler.

www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/2948/orgel.html
Artikel af én af pionererne indenfor livets oprindelse.

Opgave-hjørnet

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter

Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt en ny opgave. I KVANT nr. 1 (2004) blev denne breddeopgave fra RUC (fra sommereksamen 2003) bragt:

17. Varmeudvikling i stikkontakt.

I en stikkontakt, hvortil der er tilsluttet en vandvarmer, sker der en varmeudvikling på grund af en løse forbindelse i stikkontakten. Hvor stor varmeudvikling kan komme på tale? Begrund svaret.

Ved løsning af opgaven kan man til en start gøre sig de to ydertilfælde klart. Både når modstanden i den løse forbindelse i stikkontakten er meget lille, og når den er meget stor, bliver varmeudviklingen i stikkontakten forsvindende. I det sidste tilfælde på grund af den forsvindende strøm. Der vil derfor være en modstand mellem 0 og ∞ i den løse forbindelse, der giver den største varmeudvikling, der kan komme på tale i stikkontakten, givet ved netspændingen og modstanden i vandvarmeren.

Kaldes netspændingen V , vandvarmerens modstand og dimensionerede effekt R_v og W_v , modstanden og varmeudviklingen i den løse forbindelse R_s og W_s , og strømstyrken I , har vi:

$$W_s = R_s \cdot I^2 = R_s V^2 / (R_v + R_s)^2 \quad (1)$$

og

$$dW_s/dR_s = V^2 \cdot (R_v + R_s - 2R_s)/(R_v + R_s)^3 = 0 \quad (2)$$

for $R_s = R_v$, hvorfor den maksimale varmeudvikling i stikkontakten er givet ved:

$$W_{s,max} = R_v \cdot V^2 / (R_v + R_v)^2 = \frac{1}{4} V^2 / R_v = \frac{1}{4} W_v \quad (3)$$

Der kan altså, hvis uheldet er ude, komme op til en fjerdedel af vandvarmerens dimensionerede effekt på tale som varmeudviklingen i stikkontakten med den løse forbindelse.

Kommentar

I det sidste nummer af KVANT blev der kommenteret dels en opgave om vandstandsstigning i en brønd efter tømning og dels en opgave om opvarmning af et koldt hus. Begge disse opgaver henter deres motiver fra den ødegård i Sverige, som jeg har en andel i, og som gennem en årrække har været rammen om de matematik- og fysikstuderende og personalet ved IMFUFAs årlige strategiseminar. Opgaven her henter også sit motiv fra ødegården. Blandt de fysikstuderende på RUC er

det ofte en selvstændig sport, ud fra kendskabet til ødegården, i breddemodulopgavesamlingen at identificere sådanne "sverigesopgaver". Der findes nok en snes stykker af dem i samlingen.

"Sverigesopgaverne" giver deres beskedne bidrag til at tydeliggøre breddeopgavegenren, som blandt andet indebærer, at opgaverne skal vedrøre virkelige, ikke tænkte, problemstillinger. Dels af motivationshensyn i forhold til de studerende, dels for at illustrere, at fysikkens karakter af teoretisk, forklarende videnskab netop gør den brugbar til at overskue dele af virkeligheden med, og at fysikken ikke er det skolastiske, selvbestemmende system, som den på grund af sit stærkt teoretiske præg ofte forveksles med.

Ved at knytte an til de fælles oplevelser fra ødegården giver "sverigesopgaverne" også deres – igen beskedne – bidrag til, at de studerende kan identificere sig med breddeopgaveplottet. Og en sådan identifikation eller accept fra de studerendes side er selvsagt vigtig. Og på den anden side slet ikke trivial i betragtning af, at breddeopgaverne både er og opleves vanskelige for og af de studerende på grund af deres åbne formuleringer. En manglende identifikation kunne f.eks. medføre studenter-, lærer- eller censorkrav om mere lukkede og præcise opgaveformuleringer med henvisning til de studerendes retsstilling. Desværre med den konsekvens, at hvad der blev vundet i henseende til retsstilling til gengæld ville blive sat over styr i henseende til relevansen af eksamensopgavernes virkning tilbage på udbyttet af undervisningen. Heldigvis har de fleste fysikstuderende på RUC indtil nu ladet sig udfordre af de vanskelige, åbent formulerede opgaver, fordi de har set relevansen i at arbejde med dem.

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne overveje denne noget anden type breddeopgave (fra vintereksamen 2002):

18. Relativistisk tyngdepunktsflytning.

En pistolkugle affyres fra en pistol fastgjort på den ene endevæg af en kasse og stoppes i en klods på den anden endevæg. Kassen er anbragt på et vandret, glat underlag. Flytter kassen sig? Begrund svaret.

Max Born opstillede et "Gedankenexperiment", hvor pistolen er erstattet med en lyskilde og klodsen med en absorber. Ved at benytte relationen mellem energi og impuls for elektromagnetisk stråling (som leveres af den elektromagnetiske feltteori) og reglen om bevarelse af tyngdepunktsimpulsen for et isoleret system, kan man nemt nå frem til Einsteins energi-masse-ækvivalensrelation ($E = mc^2$). Eftersig dette.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.

Hvordan virker tyngdekraften?

En læser har sendt et spørgsmål om tyngdekraften.

Æbler falder ikke til jorden

Newton filosoferede over tyngdekraften, da han så et æble falde til Jorden. Det samme gør jeg – men med modsat resultat, eller forklaring.

Det strider mod min sunde fornuft, at noget kan tiltrække noget andet, når de to ting ikke er fysisk forbundet til hinanden. Jeg er ikke i tvivl om effekten af tyngdekraft og de andre tiltrækninger, som elektromagnetisk og de stærke og svage kernekrafter. Men jeg har aldrig forstået at det kan lade sig gøre at udøve en fysisk tiltrækning. Jeg mener heller ikke at jeg har fået nogen forklaring i skolen, eller senere i livet.

Hvis to legemer er forbundet med en snor, kan jeg forstå at de via snoren trækker i hinanden. Men selve snoren er jo opbygget af molekyler, der trækker i hinanden. Molekylerne er opbygget af atomer, der trækker i hinanden. Atomerne består af partikler der trækker i hinanden. Det bygger alt sammen på tiltrækning. Men jeg har aldrig fået en forklaring – kun en konstatering.

Enhver kan jo se, at æblet falder til Jorden. Men det kunne efter min mening lige så godt forklares ved at det skubbes til Jorden af et ydre tryk. Min idé er, at rummet udøver et tryk i alle retninger og på alle steder. Masse giver på en eller anden måde læ for dette tryk. Æblet påvirkes derfor mindre nedefra, fordi Jorden giver læ under det, mens der er mindre læ over æblet.

Hvis en dykkerklokke laves som en samling af to halvkugler og sænkes ned på dybt vand, vil man opleve, hvad der svarer til at de to halvkugler trækker i hinanden. Men det skyldes jo blot vandets tryk, og at de hver især spærrer for vandets tryk på hinanden. Tilsvarende opleves når man pumper luften ud af en kugle lavet af to halvkugler. Det kræver en stor kraft at trække dem fra hinanden. Men det skyldes jo bare atmosfærens tryk.

Gravitoner har været nævnt som partikler, der udveksles og derved formidler massetiltrækning. Men det er svært at forstå, at en partikel skulle komme farende imod mig med lysets hastighed og så bevirke at jeg følte mig trukket i den retning partiklen kom fra. Jeg ville finde det mere naturligt hvis den skubbede mig i den retning den selv kom farende i. Sådan gør de fleste andre partikler da, hvis ikke alle andre partikler.

Tiltrækning ved hjælp af frastødning?

Idéen om, at der slet ikke findes nogen tiltrækning kalder på en anden forklaring på alle de tilsyneladende tiltrækninger. Den centrale tanke er her at rummet øver et tryk i alle retninger og på alle steder. Det kunne kaldes en "rumvind". Masse giver så en form for læ for dette tryk. Hvis masse kan give læ for trykket på en sådan måde at effekten af læen aftager med kvadratet på afstanden, vil det "blot" være en måde at forklare gravitation på, men der vil ikke være nogen måde at måle forskellen på, tror jeg. De svage og stærke kernekrafter arter sig lidt anderledes, men det kunne jo forklares ved at de virker mellem ting af størrelser tættere på trykkets egentlige substans.

Torkild Glaven

Et forsøg på svar

Det er altid godt, at stille spørgsmålstegn ved de ting vi normalt tager for givet og det er nogle udmærkede analogier der opstilles af Torkild Glaven. Det tryk som i spørgsmålet kaldes "rumvinden", er faktisk velkendt i kvantefeltteorien som vakuumfluktuationer. De kan godt fortolkes således, at vakuum har et tryk. Det er også muligt, at fortolke massetiltrækning som en effektivt mindre frastødning. De fleste vil dog nok ikke begynde at snakke om vakuumtryk men fortsat kalde en kraft tiltrækkende, hvis den effektivt er det.

Læs f.eks. en omend noget teknisk artikel i Gamma nr. 120 [1]. Heri forklares vakuumfluktuationer og hvordan de påvirker elektromagnetisk stråling samt Casimir-effekten. Herefter udledes Newtons universelle tyngdelov ud fra de foregående resultater.

Casimir-effekten går kort ud på, at to ledende metalplader anbragt overfor hinanden i vakuum, vil blive tiltrukket mod hinanden pga. af et højere tryk fra vakuum udenfor. Effekten skyldes, at den korte afstand mellem pladerne forhindrer nogle af fluktuationerne imellem pladerne så trykket på indersiden af pladerne bliver mindre end trykket på ydersiden. Effekten er målt, men fortolkningen af den kan diskuteres.

Gravitoner, som er de postulerede kraftpartikler (bosoner), der skulle formidle tyngdekraften kvantemekanisk, er aldrig observeret. De optræder i teorien for kvantegravitation på samme måde som fotonen gør i kvanteelektrodynamikken. Men gravitonerne giver anledning til uendeligheder i udregningerne. Dette problem kan imidlertid løses hvis man går over til (perturbativ) strengteori, hvor gravitonen svarer til en lukket streng i en bestemt meget lav energitilstand. Streng skal – hvis de eksisterer – eksistere i flere dimensioner end de tre rumlige og tiden som vi kan observere. De ekstra dimensioner er blot sammenrullede, så effekterne af bevægelser i de sammenrullede dimensioner vil kun vise sig på meget korte afstande [2].

Da gravitonerne ikke er bundet til, at bevæge sig i de tre kendte dimensioner, vil en del af dem måske kunne "lække" til de ekstra dimensioner og dermed forklare at tyngdekraften er så svag? Gravitoner der måtte komme ind i vores dimensioner fra et andet sted, er samtidig en kandidat til det mørke stof [2]. Alt dette er dog meget spekulativt – gravitationer er ikke detekteret.

Læsere, der kan give et mere fyldestgørende svar opfordres til at sende det til kvant@kvant.dk.

MCA

Referencer:

- [1] Patrick Bruskiewich, "Zero Point Fluctuations and the Suspended Charged Paradox" (2000), Gamma bind 120; www.gamma.nbi.dk/gamma120/indhold.html
- [2] Artikel om gravitoner på Wikipedia Webleksikon (teknisk), en.wikipedia.org/wiki/Graviton

Astronomi og Astrobiologi

David Field, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.

Hvad er Astrobiologi?

Astrobiologi er studiet af det ældgamle spørgsmål om livets opståen, og hvorvidt der findes liv andre steder i Universet; et ældgammelt spørgsmål, så hvorfor er astrobiologi blevet et så spændende og aktuelt felt i de seneste få år? Hvorfor står emnet øverst på dagsordenen hos NASA og hos det Europæiske Rumagentur, ESA? Hvad ved vi i dag, som vi ikke vidste for ti år siden, eller kun havde de første anelser om? Svaret findes, som vi skal se, lidt hist og lidt pist, men det er tilstrækkeligt til, at det virker meget ansporende.

Astrobiologi forener astronomi og biologi: biologerne prøver ivrigt at grave en tunnel fra den ene side af barrieren, til forståelsen af livets opståen, mens astronomer, fysikere og kemikere graver lige så ivrigt fra den anden. En dag vil de mødes på midten, og vi vil forstå, hvad der skete for 3,5 milliarder år siden, da levende systemer udviklede sig på Jorden. Denne forståelse venter endnu ude i fremtiden, men vi gør fremskridt.

I denne artikel søger jeg at viderebringe nogle af de mest interessante opdagelser, der er blevet gjort for nylig i astronomi, og som er knyttet til livets opståen i Universet og har givet energi til feltet astrobiologi. Disse opdagelser er små isolerede, oplyste brudstykker, og det er vanskeligt at forbinde dem til et sammenhængende billede, men jeg vil alligevel forsøge at gøre det. Der stilles flere spørgsmål, end der besvares, men det er blot, som det skal være; vi forstår ikke livets opståen, men vi begynder at kunne samle nogle brikker af puslespillet.

Det store billede

Lad os først se på det store billede, med det forbehold, at der er mange usikkerheder. Universet opstod i Big Bang. Men i Big Bang blev kun de simpleste atomer dannet: brint, deuterium, helium og en smule lithium og beryllium. For at opbygge livet, som vi kender det, behøver vi ikke blot de lette grundstoffer ilt, kulstof, brint, kvælstof, i denne rækkefølge efter hyppighed, men også en lille smule af mange andre, som f.eks. magnesium, silicium, jern, aluminium, natrium, kalium, krom, mangan, fosfor og endnu flere, selv wolfram. Disse grundstoffer er blevet dannet i stjernernes indre i de 13,5 milliarder år, der er gået siden Big Bang. Den første stjerne i Universet [1] blev dannet omkring én million år efter Big Bang. Denne enorme stjerne, flere hundrede gange tungere end Solen, eksploderede som en supernova. I denne eksplosion blev der dannet små mængder af tungere grundstoffer gennem kernereaktioner ved de meget høje temperaturer under eksplosio-

nen. Samtidig blev elektronerne slået løs fra alle atomerne i Universet pga. den intense højenergi stråling, der var forbundet med supernovaeksplosionen.

Universet genetableredes så at sige efter denne ødelæggende begivenhed - der blev dannet en generation af nye stjerner i de første galakser, måske 100 millioner år senere. Disse stjerner var meget forskellige fra vores sol. De var meget tunge, hvidglødende og meget kortlevede, de overlevede kun i nogle få millioner år. Disse stjerner eksploderede også som supernovaer og spredte tungere grundstoffer gennem deres værtsgalakser. Dette skabte et medium beriget med tungere grundstoffer mellem stjernerne, det "interstellare medium". Her dannedes en ny generation af stjerner i turbulente knuder af gas med høj lokal tæthed og effektiv afkøling af mediet gennem udsendelse af stråling - delvis hjulpet af den kølende indflydelse fra det nyligt dannede kulstof og ilt - og endelig, som for alle stjerner, gennem den overvældende tyngdetiltrækning.

Nylige simuleringer antyder, at denne nye generation af stjerner bestod af stjerner med samme masse som Solen [2]. Med den lave masse har disse koldere stjerner været langlivede, og de har skabt det første miljø, hvor man måske kunne forestille sig liv. Der kan imidlertid endnu ikke have været liv, da hyppigheden af tungere grundstoffer stadig var meget lav, mindst 1000 gange mindre end i Mælkevejen. Der var stadig ikke nok råmaterialer til at danne klippeplaneter, endsige liv. Flere generationer af stjerner levede og døde, hver generation berigede mediet mellem stjernerne med tungere grundstoffer. I dag er 1,7 % af brintatomerne fra Big Bang omdannet til grundstoffer tungere end helium.

Ni milliarder år efter Big Bang, i én af Mælkevejens spiralarme, i en galakse blandt mere end 10^{11} andre, begyndte en bestemt gassky - den "præsolare tåge" - der indeholdt grundstoffer nødvendige for livet, at føle det uimodståelige træk fra tyngdekraften og dannede Solen. Der var tilstrækkelige mængder grundstoffer som ilt, silicium, jern, magnesium, aluminium og svovl til at danne klippeplaneter. På en eller anden måde kom flere af de grundstoffer, der er nødvendige for livet, til at optræde i langt større mængder på Jorden end i Universet som helhed. Et godt eksempel er fosfor, som er en afgørende bestanddel af ryggraden i DNA. Fosfor har en kosmisk hyppighed på 0,27 ppm, hvorimod hyppigheden er 700 ppm i biosfæren. Så tog naturen en ske og rørte rundt i gryden med alle de rigtige kemiske forbindelser, vand, aminosyrer, nukleobaser, sukkerarter, fosfater og fedtsyrer. Efter at der var blevet rørt i omkring to til tre hundrede millioner år, sprang der en éncellet organisme ud, som landede på en sten og

begyndte at danne en koloni. Det er selvfølgelig problemet: vi kan ikke se, hvordan en levende organisme kunne opstå spontant alene ud fra de kemiske ingredienser fra biokemien. Men det er et problem for biologerne, der graver løs fra den anden side af barrieren for at forstå livets opståen. Lad os nu træde et skridt tilbage og betragte astronomiske, frem for biologiske, sider af astrobiologien. Vi vil beskæftige os med, hvordan ingredienserne til biokemien kom ned i gryden, som naturen rører rundt i, men ikke med, hvad der foregår i selve gryden.

Unge stjerner og planeter omkring andre stjerner

Hvordan var de fysiske betingelser i gassen omkring den meget unge sol, da planeterne blev dannet? Hvilke molekyler var der til stede i denne soltåge, og i hvilken form blev de indlejret i Jorden: I en nøddeskal, hvordan er forbindelsen mellem Jorden og det interstellare rum? Svarene på disse spørgsmål kommer både fra astronomiske observationer og fra analyse af meteoritter. Tekniske fremskridt inden for begge områder har skabt feltet astrobiologi i det sidste årti.

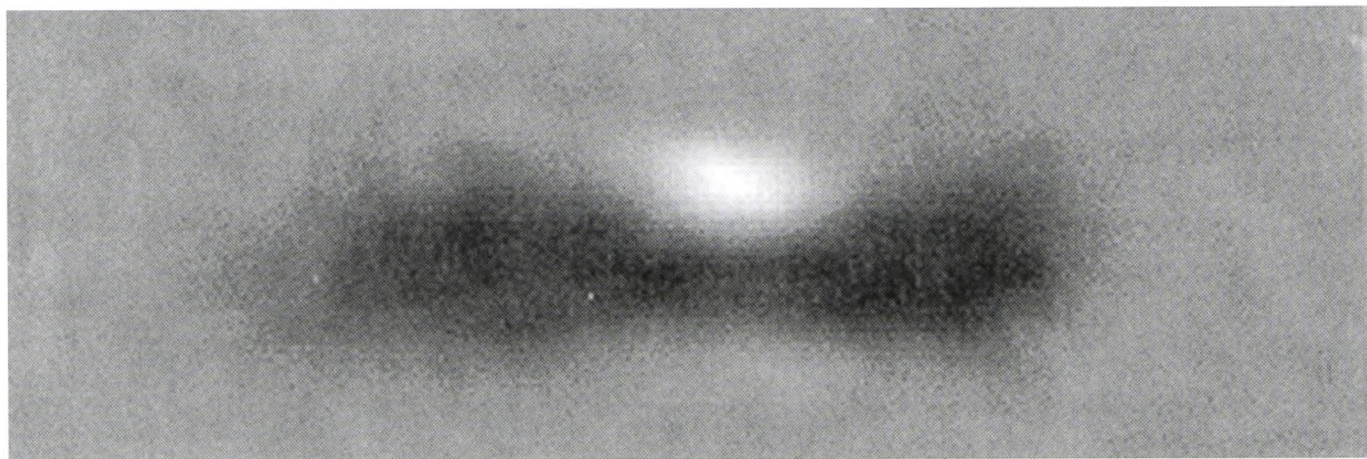
Først astronomi: For at undersøge, hvordan Solen og planeterne blev dannet, vender vi vores teleskop mod meget unge stjerner ("protostjerner"), som vi mener en dag vil komme til at ligne Solen, men som er under dannelse "nu" - dvs. som vi ser dem nu. Det nærmeste og mest velstuderede aktive stjernedannende område er Orion-tågen, som vi ser, som den var for 1500 år siden. Et infrarødt billede af dette område er vist i figur 2. Belligenheden på himlen er nogle få grader syd for Orions Bælte, der er synligt i vintermånederne på den nordlige

halvkugle. Det tekniske problem i studiet af stjernedannelse er rumlig opløsning og spektral opløsning. I de sidste ti år er vinkelopløsningen, og dermed den rumlige opløsning, ved hjælp af Hubble Rumteleskopet og jordbaserede teleskoper som Canada-France-Hawaii Teleskopet (CFHT) og det Europæiske Sydobservatoriums Very Large Telescope (VLT) blevet god nok til at opløse objekter så langt væk som Orion på skalaer mindre end Solsystemet, dvs. mindre end 100 gange afstanden mellem Jorden og Solen (100 Astronomiske Enheder eller AE).

Data fra Hubble Rumteleskopet viser, at meget unge stjerner i dannelsesøjeblikket kan være omgivet af skiver af en gas med støvkorn, med en skivediameter fra 50 til 1000 AE.

Figur 1 viser en stor, 1000 AE, protostellar skive set næsten fra siden i Orion Molekylskyen, og i midten skimtes lys, som er reflekteret fra støv fra den blokerede protostjerne. Massen af materialet i denne skive er stor nok til at danne mere end 700 Jordkloder - eller godt og vel to Jupiterer.

Den inderste, tættere del af skiven i Figur 1 er det område, hvor planeter kan være under dannelse, i et plan ligesom omkring Solen - men sådan en bemærkning hviler på den antagelse, at der er planeter omkring andre stjerner. Indtil for få år siden var det ikke muligt at afgøre denne gåde, og vi gættede nærmest på, at der var planeter omkring andre stjerner. Nogle argumenterede for - og argumenterer måske stadig korrekt for - at vores Solsystem, med dets beboelige planet (eller planeter?), er enestående, og at det eneste liv i Universet er dét på Jorden.



Figur 1. Et Hubble Rumteleskop billede af en skive af støvet gas omkring en protostjerne i Orion Molekyl Skyen optaget gennem et medium-bånd kontinuumfilter ved 547 nm. Diameteren af skiven er ca. 1000 AE (Jord-Sol afstande). Der er masse nok i denne skive til at danne mere end 700 Jordkloder og lidt mere end to Jupiterer. Den klare plet af lys midt i billedet er lys fra den skjulte protostjerne reflekteret af skyer af støv der omgiver dette område. Billedet er taget fra M.J. McCaughrean og C.R. O'Dell (1996), "Direct Imaging of Circumstellar Disks in the Orion Nebula", *Astron.J.*, bind 111, side 1977.

Vores uvidenhed om tilstedeværelsen af planeter omkring andre stjerner er nu forsvundet, men har blot afsløret vores uvidenhed om, hvordan planeter dannes. I 1995 rapporterede Mayor og Queloz en planet omkring stjernen 51 Pegasi [3]. Dette var den første påvisning af en ekstrasolar planet omkring en solliggende stjerne, og den er blevet fulgt af påvisninger af mere end 100 planeter - faktisk vedrører den 123. planet-detektion, som blev offentliggjort i juli 2004, en stjerne 140 lysår fra Jorden. Nogle stjerner har vist sig at have to eller tre planeter i kredsløb omkring sig. Af tekniske årsager er der kun påvist tunge planeter [4], med en masse på nogle brøkdele af Jupiters, som er 300 gange Jordens. Derfor ved vi stadig ikke, om der er Jordlignende planeter i kredsløb omkring andre stjerner. Hvordan det end forholder sig, er der i mange tilfælde fundet tunge planeter, der bevæger sig i excentriske baner, hvor de kommer meget tæt på deres værtsstjerne, i modstrid med alle eksisterende teorier for planetdannelse. Sådanne baner kommer ikke blot på tværs af teorien, men - hvad der er af større betydning - de står også meget i vejen for liv, da ethvert begyndende biologisk system ville blive skiftevis nedfrosset og brændt levende. I modsætning hertil ville en god kandidat for liv være en planet (med en atmosfære), som holder sig inden for en bane med næsten konstant afstand fra værtsstjernen, dvs. i en cirkulær bane med en radius, så vand hverken koger eller fryser. Dette er den såkaldte "beboelige zone", hvor vand altid er flydende, en egenskab ved miljøet, der sandsynligvis er afgørende for udviklingen af liv. Jagten på lettere og mere bio-venlige planeter går i højeste gear med NASAs Kepler mission (2007), den i det væsentlige franske COROT mission (2007), det Europæiske Rumagentur ESAs EDDINGTON mission (måske) og GAIA missionerne (~2011), NASAs Terrestrial Planet Finder (2015) og det Europæiske Rumagentur ESAs DARWIN (2015+) mission. Senere missioner, f.eks. DARWIN, vil også søge efter spor af liv på ekstrasolare planeter gennem analyse af gasser i planetatmosfærerne.

Gas og støv omkring protostjerner

Lad os vende tilbage til den astronomi, der er inden for vores nuværende rækkevidde, og spørg om, hvad det er for en gas, som planeterne dannes i omkring protostjernerne? Først, hvad består den af? Gassen er 90 % molekylær brint, H_2 , med 10 % He, nogle få titusindele af den totale antalstæthed består af kulmonoxid, vand, ammoniak og snesevis af andre molekyler (og ioner), både velkendte, som f.eks. alkohol, og mindre velkendte, som f.eks. HCO^+ . Den totale antalstæthed spænder fra nogle få hundrede partikler per kubikcentimeter (cm^3) til mere end 10^{11} per cm^3 tæt på varme, tunge stjerner.

Gastemperaturen kan være så lav som 10 K, men i korte perioder, som uger, måneder eller år, kan gassen blive opvarmet til temperaturer så høje som 5000 K eller mere. Små partikler ("støvkorn"), bestående af

magnesium- og jernsilikater eller grafit-agtige stoffer opbygget af kulstof, udgør 1 % af gassens totale masse. Disse partikler varierer i størrelse fra "store molekyler" på en snes Ångstrøm til mikrometer, med langt flere små partikler end store. Støvkornene er meget kolde, typisk 10 K, og observationer viser, at de er dækket af en blanding af vand-, ammoniak-, kuldioxid- og andre typer is. Blokeringen af synligt stjernelys, der med Herschels udtryk skaber "huller i himlen", hvor der tilsyneladende ingen stjerner er, er et slående bevis for tilstedeværelsen af støvkorn. En af de mest dramatiske illustrationer af støvkorns skyggende effekt ses i figuren på forsiden, der viser Hestehovedtågen (Barnard 33), en sky af gas og støv, som i den synlige del af spektret skygger for stjernerne bagved. Hestehovedtågen ligger tæt på Orion-tågen i figur 2, som vi nu vil fokusere på.

For det første er der dannet mere end 1000 stjerner i Orion-tågen inden for den sidste million år, og mange af disse stjerner kan faktisk ses i figur 2. Orion er et af de vigtigste områder til observation af igangværende stjernedannelse [f.eks. 5,6]. For det andet er der observeret mange forskellige molekyler i gasfasen i Orion-tågen. I en nylig eftersøgning med radiobølger, der dækkede et ret smalt frekvensområde [7], blev der f.eks. fundet mere end 15 forskellige kemiske forbindelser, herunder metanol, dimetyllæter (CH_3-O-CH_3), etyl- and metylcyanid, svovldioxid, deutereret ammoniak og andre. Som en lille forsmag på fremtiden, om kun 4-5 år, kan det nævnes, at det Europæiske Sydobservatoriums Atacama Large Millimetre Array (ALMA) vil opnå en følsomhed, så man inden for ét til ti sekunders observationstid kan opnå, hvad der ville tage 100 timer med teleskopet anvendt ved radioobservationerne beskrevet i [7]. Når vi kommer til overvejelserne om informationen fra meteoritter, så husk den rige molekylære høst, som kommer fra radioastronomien, og den endnu rigere høst, som ligger lige rundt om hjørnet med ALMA.

Stjerne- og planetdannelse

Hvordan blev de tusinde stjerner i Orion dannet inden for den sidste million år, og hvordan kan planeter være dannet omkring dem? Stjerner dannes i kernerne af tætte molekylskyer med støv, som Orion Molekylskyen ved Orion-tågen. Vi ved dette, fordi vi ved lange bølgelængder kan fotografere meget unge stjerner begravet dybt inde i Orion Molekylskyen. Måden, hvorpå stjerner dannes, er imidlertid stadig et meget omdiskuteret spørgsmål og et vigtigt emne for studier i astronomien i dag. Naturen synes at udføre stjernedannelse - og måske planetdannelse - meget villigt, men det har ikke været muligt at skabe en sammenhængende model, som fremhæver den vitale fysik og kemi. Gravitationelt kollaps er afgjort dominerende i den korte afslutningsfase i den inderste del af den zone, hvor protostjernen dannes. Fysikken og kemien i skiven, hvor planeterne dannes, som i den på figur 1, og generelt

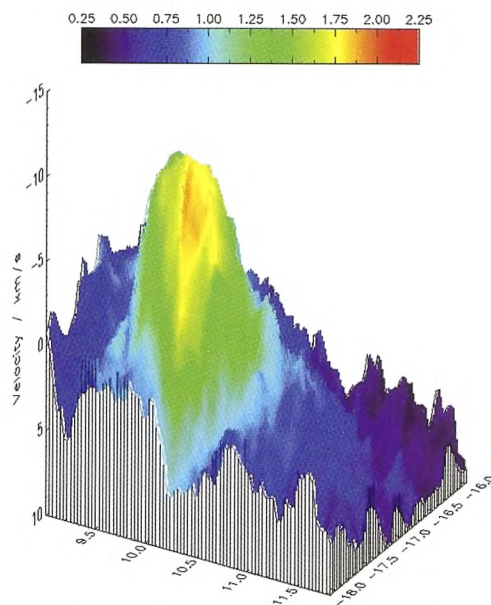
omkring protostjernen, er imidlertid genstand for stor diskussion. Det er tilstrækkeligt at nævne, at selv dannelsen af kæmpeplaneter er genstand for to konkurrerende modeller. Den ene involverer en langsom opbygningsproces over mange millioner år [8], og i den anden foregår planetdannelsen gennem turbulens, der i skiven danner klumper af gas og støv, der trækker sig sammen ved tyngdekraften, på en tidsskala på ca. 1000 år [9]. En faktor på 1000 eller mere mellem de to modellers tidsskalaer taler sit tydelige sprog om vores ufuldstændige forståelse af planetdannelse.



Figur 2. Orion-tågen fotograferet i det infrarøde med det Europæiske Sydobservatoriums Very Large Telescope. De klare Trapezium stjerner ligger i centrum af billedet. Nord for Trapez ses rød emission, der markerer Orion Molekylskyen, hvor unge stjerner ("protostjerner") er under dannelsen. Den protostellare skive, vist i figur 1, og den hurtigt udslyngede varme brint, vist i figur 3, befinder sig begge i dette stjernedannende område. Billedet er 180.000 AE (Jord-Sol afstande) på hver led, eller ca. 2,7 lysår.

Lad os nu vende blikket mod observationer. Hvad ser vi, når vi forsøger at kigge på områder, hvor meget unge stjerner dannes, de såkaldte "protostellare zoner"? Meget unge stjerner er stærkt blokerede i det synlige område, fordi det udsendte lys absorberes og spredes af støv i den tætte gas, der omgiver dem, ligesom synligt lys blokeres af støvet i Hestehovedtågen (figuren på forsiden). Emission er mindre blokeret i det infrarøde, og derfor foretages observationer af den meget tidlige fase af stjernedannelse ved infrarøde bølgelængder. Det viser sig, at et væsentligt træk ved de tidligste stadier af stjernedannelse er emission fra meget varm molekylær brint (H_2) i det infrarøde spektralområde omkring en bølgelængde på 2 mikrometer. Morfologien af H_2 -emissionen afslører gas slynget ud fra protostjernen i kolliderede udstrømninger vinkelret på skivens plan - hvis der da findes en skive. Forklaringen er, at der strømmer gas ud fra protostjernerne med supersoniske hastigheder mellem 5 og 50 km/s, og denne gas støder så ind i den omgivende gas og skaber såkaldte "in-

terstellare chok". Gassen, der udsættes for denne tortur, opvarmes og komprimeres af det supersoniske sammenstød, og H_2 , der som nævnt er den vigtigste bestanddel af gassen, udsender lys i det infrarøde, mens gassen efterhånden afkøles fra flere tusinde grader ned til de oprindelige 10 K.



Figur 3. Molekylær-brint-emission fra et stjernedannende område i Orion Molekylskyen (se figur 2) observeret i det infrarøde ved en bølgelængde på 2,121 mikrometer. Billedet viser himmelplanet, målt i buesekunder, på x- og y-akserne, hvor 1 buesekund = 450 Jord-Sol-afstande (AE). Skalaen er derfor ca. 200 gange mindre end skalaen i figur 2. Hastigheden i forhold til det lokale standard-hvilesystem er vist på den lodrette akse. Farverne refererer til styrken af emissionen. Canada-France-Hawaii Teleskopet: detaljer i ref. [10].

En grafisk afbildning af et chok begravet inde i Orion Molekylskyen er vist i figur 3 [10]. Her ses varm brint, der bevæger sig hurtigt imod os med hastigheder på op til ca. 20 km/s relativt til den omgivende koldere gas. Mens den gør det, pløjer den ind i kold gas foran chokket, og der sker en række kemiske processer. Dynamikken af hurtige udstrømninger fra protostjerner kompliceres af tilstedeværelsen af ladede partikler og magnetfelter, men nettoresultatet er, at højtemperaturkemi kan finde sted, støvkorn støder ind i molekyler med hastigheder på flere gange 10 km/s, isen på deres overflade fordamper eller blæses væk, og kornene kan ætzes og slippe f.eks. silicium ud i gasfasen. Disse processer finder sted i et medium, der allerede er af betragtelig kemisk kompleksitet, som vi har set ovenfor fra radioastronomiobservationer [7]. Gassen omkring protostjernen bliver derfor en veritabel heksekedel af organiske forbindelser. En del af disse kondenserer på overfladen af støvkornene og er klar til at deltage i yderligere processer med ultraviolet lys, hvor dette kan trænge igennem til mediet, og med kolde elektroner, der hele tiden bombarderer støvkornenes overflader, eller i spontane kemiske reak-

tioner på overfladen. Detaljerne i den komplicerede kemi omkring protostjerner er stadig ukendt, men det er et problem, som man er begyndt at undersøge i laboratorieeksperimenter. Det er for eksempel blevet vist, at ultraviolet bestråling af en blanding af vand-, metanol-, ammoniak-, kulmonoxid- og kuldioxid-is giver 16 forskellige aminosyrer [11].

Meteoritters kemiske rigdom

Mens vi måske er uvidende om, hvordan molekyler dannes omkring protostjerner, har vi helt uafhængig information om slutresultatet af nogle af de kemiske processer i den indre protostellare skive. Dette skyldes de nyttige budbringere fra det tidlige Solsystem, som lander på Jorden fra tid til anden, nemlig primitive meteoritter. Disse meteoritter er en million år gamle fragmenter af meget ældre moderlegemer. Så fragmenterne bærer den kemiske signatur fra den æra, da moderlegemerne blev dannet.

Der skete en vigtig begivenhed for astronomi og astrobiologi omkring kl. 10:45, søndag den 28. september 1969: en stor ildkugle eksploderede nær byen Murchison, Victoria, i Australien, og over 100 kg sortsvedne sten regnede ned over et 10-15 km² stort areal. Mærkeligt nok blev det rapporteret, at der lugtede af alkohol i byen. Uanset betydningen af den sidste observation var dette den dramatiske ankomst af den nu berømte Murchison meteorit. Dette er en af de mest primitive meteoritter, der kendes, og den bærer spor fra den æra, da Jorden blev dannet, for 4,5 milliarder år siden. Der er fundet mange korn inden i meteorittens grundmasse, og det er resterne af støvkornene fra de skyer, der dannede den præsolare og den solare tåge. Vi skal ikke gå nærmere ind på Murchisons interessante mineralogi, men nævnes skal lige tilstedeværelsen af vand, som måske kondenserede ved omkring 4 AE fra den tidlige Sol. Murchison indeholder også 2-2,5 % kulstof efter vægt og 0,09 % til 0,16 % kvælstof efter vægt i form af en række forskellige organiske stoffer, diamant, makromolekylære organiske forbindelser (f.eks. store polycykliske aromatiske hydrocarboner), grundstammer i DNA og RNA og mindst 79 forskellige aminosyrer. Af disse aminosyrer er der 8, som er kemisk identiske med dem, der findes i vore dages biokemi, hvor der er 20 aktive aminosyrer. Syv diaminosyrer er også blevet identificeret: de er bestanddele af peptid-nukleinsyrer [12], der er foreslået som de tidligste forløbere for liv, tidligere end RNA eller DNA.

I takt med at teknikken forbedres, bliver rækken af molekyler i Murchison stadigt mere omfattende, og den antyder mere og mere et uden-jordisk molekylært bidrag til livets oprindelse. Mange forskellige sukker typer og sukker-beslægtede forbindelser er blevet identificeret i mængder, der svarer til aminosyrerne [13]. Disse såkaldte polyhydroxylerede forbindelser er essentielle for alle kendte livsformer som komponenter i RNA, DNA og cellemembraner og som energikil-

der. Hertil kommer, at nylige studier viser, at mere end 50 organiske syrer (karboxylsyrer) op til C₁₀ findes i Murchison [14]. Disse og beslægtede molekyler er vigtige bestanddele af cellemembraner.

Den måske mest overraskende af alle opdagelserne er, at visse af aminosyrerne i Murchison tilsyneladende optræder som "ikke-racemiske" blandinger. En kemisk afstikker for at forklare dette: kulstof er tetra-valent, dvs. at det kan have fire kemiske grupper, f.eks. COOH, CH₃, H, OH, NH₂, fæstet til sig. Med kulstof i centrum peger disse vedhæftede grupper mod spidserne af et tetraheder. Hvis der er fire forskellige grupper hæftet til et kulstofatom, eksisterer forbindelsen i to former, som er hinandens spejlbilleder. Ligesom dine to hænder kan de ikke dække hinanden rumligt. Molekylet siges at være chiralt, og de to former kaldes "enantiomer". Disse to former kan skelnes fra hinanden gennem deres optiske egenskaber. Hvis plant polariseret lys passerer gennem en opløsning af "L-enantiomer", roterer polarisationsplanet til venstre, og passerer lyset gennem "D-enantiomer", roterer det til højre. En "racemisk blanding" er én, der indeholder præcis lige mange D- og L-enantiomer. Aminosyrer i jordisk biokemi, hvoraf 19 ud af 20 er chirale, kombinerer og danner proteiner, og i alle aktive proteiner findes der kun L-enantiomer, et fænomen som kaldes "homochiralitet". Homochiralitet er et molekylært træk, der er med til at definere livet på Jorden, og utvivlsomt også kulstofbaseret liv andre steder, idet den rumlige kompleksitet og den tilknyttede "håndethed" i kulstofkemi er en nøgle til molekylær genkendelse. I Murchison danner nogle aminosyrer racemiske blandinger, som f.eks. alanin, men andre, som isovalin, kan have en overvægt på op til 15 % af L-over D- [15]. Vi når til den højst uventede konklusion, at dannelsen eller overlevelsen af L-isovalin favoriseres over D- i et ikke-biologisk miljø, og at en vis grad af homochiral præference optræder i den interstellare og protoplanetariske fase af den kemiske udvikling gennem rent fysiske og kemiske ikke-biologiske processer. Det er usikkert, hvorledes det symmetribrud, der fører til ikke-racemiske blandinger i Murchison, er opstået, men mange "have had their tiny fling at it", for at citere Mark Twain.

Endnu et punkt understreger den interstellare forbindelse til Jorden. I kolde interstellare skyer ved 10 K, som er forstadierne til de præsolare og solare tåger, driver termokemiske og overfladekemiske mekanismer molekyler til at udskifte deres H-atomer med D-atomer, dvs. de deutererede bliver foretrukket. Deuterium til brint forholdet i Universet er ca. 2×10^{-5} . Det har imidlertid vist sig muligt, med radioastronomi, at observere så eksotiske arter som tre gange deutereret ammoniak (ND₃) [16] med en hyppighed på kun et hundrede gange mindre end NH₃ eller mange størrelsesordener højere end forventet på grundlag af det kosmiske D/H forhold. D/H fraktionering, som det kaldes, viser, at de kemiske processer har fundet sted inden i en meget kold interstellar sky, og at forbindelserne derfor er af interstellar

molekylær oprindelse. Aminosyrerne i Murchison har et D/H forhold, der er flere gange større end observeret i jordiske aminosyrer. Så Murchison aminosyrerne viser et tydeligt tegn på deres interstellare oprindelse ved deres slægtskab med forbindelser som deutereret ammoniak, formaldehyd (HDCHO, D₂CO), eddikesyre og andre mulige forløbermolekyler, hvorfra aminosyrer kan være dannet.

Den interstellare forbindelse til Jorden: levering af biomolekyler fra rummet

Det er afgjort fascinerende, når Murchison viser, at så forskellige og relevante biomolekyler blev syntetiseret i den solare tåge på det tidspunkt, da Jorden blev dannet. Men har det nogen betydning for livets opståen på Jorden? Er det muligt, at en betydelig del af forrådet af biomolekyler kan være blevet bragt til den tidlige Jord fra rummet? Kunne det være tilfældet, at den oprindelige suppe ikke blev mikset sammen i en mudret pøl ved en fortidig jordisk strand, men at det oprindelige køkken var selve rummet? Blev biomolekylerne leveret færdige til den tidlige Jord?

Når vi stiller disse spørgsmål, bevæger vi os ind på vurderinger og velinformeret spekulation. For det første er det almindeligt accepteret, gennem kratertællinger på Månen, at den unge Jord var udsat for en intensiv "periode med bombardement" af asteroider og kometter. Disse legemer kan i sig selv have leveret betydelige mængder materiale til den unge Jord. Der har faktisk mange gange været argumenteret for, og ligeså mange gange er det blevet tilbagevist, at kometter, som store himmelske isbjerger, kan have bragt store mængder vand til Jorden i denne tidlige periode. Hvad der end måtte have været tilfældet, må Jorden efter de massive nedslag, der dannede Månen, have været udsat for kraftige bombardementer indtil for 3,9 milliarder år siden, gradvist aftagende og stort set ophørt for 3,5 milliarder år siden.

Her introducerer vi mikrometeoritterne. Det er meget små meteoritter på typisk 100 mikrometer, større end interstellare korn, men meget mindre end de velkendte meteoritter. Forskere, specielt mikrometeoritpionéren Michel Maurette og hans kolleger [16], har med liv og sjæl og under meget ubekvemme forhold, i mange år, fisket i tilfrosne vandpytter i Antarktis og har fremdraget store mængder af disse meget små gæster fra rummet. De har klargjort, at antarktiske mikrometeoritter (AMM'er) er meget gamle og går helt tilbage til perioden med bombardement. De indeholder også en betydelig mængde "organisk kulstof", dvs. kulstof indeholdt i organiske stoffer. På grund af AMM'ernes lille størrelse kan analytiske teknikker ikke vise, at de indeholder den fantastiske samling af biomolekyler, som Murchison indeholder - men vi antager at nogle af dem gør det. Detaljerede observationer af AMM'ere viser, at mindre mikrometeoritter (50-100 mikrometer) passerede gennem Jordens atmosfære og dalede ned

ved ret lille gnidningsvarme, og 75 % er ikke smeltet i særlig grad. Derfor overlevede de skrøbelige organiske molekyler, som de antages at indeholde, rejsen til Jorden.

Næste skridt i argumentet: den nuværende samling af organisk kulstof, der falder til Jorden i form af mikrometeoritter, er på ca. 500 tons per år. Dette er i gennemsnit en halv million gange mere, end der falder til Jorden som nedslag af kulholdige meteoritter som Murchison. Konsekvensen er, at mikrometeoritter udgør det væsentligste bidrag til tilførslen af organisk kulstof til Jorden, ikke bare i dag, men igen hele Jordens historie. Nu kommer den vanskelige og usikre ekstrapolation tilbage i tiden: hvor meget organisk kulstof blev der tilført af mikrometeoritter til den tidlige Jord i perioden med bombardement? Michel Maurette sætter i [17] fluxen af mikrometeoritter til den tidlige Jord til en faktor 1000 højere end i dag. Dette medfører, at mængden af organisk kulstof tilført af mikrometeoritter i hele perioden med bombardement skulle have været mere end 100 gange større end den totale mængde organisk kulstof i den nuværende biosfære. Måske vil der blive sat spørgsmålstejn ved dette tal af andre eksperter, men der er i det mindste en stor fejlmargen. Tallet fører også til spørgsmålet om, hvor de andre 99 % organisk kulstof er forsvundet hen, et emne som jeg foretrækker at overlade til geologer og biologer at diskutere.

Dette er så langt, som vi kan komme i dag, hvis vi skal blive på rimelig sikker grund. For at resumere: Big Bang efterfulgt af supernovaer og flere generationer af stjerner i galakser førte til dannelsen af de 36 grundstoffer, der er nødvendige for alt liv på Jorden. Der blev dannet skyer af støv og gas mellem stjernerne, og i skyernes centre blev der dannet stjerner og planeter. Forstadier til biomolekyler dannedes i det interstellare rum, både i gasfasen og på de kolde overflader af støvkorn. På overfladen af støvkorn skaber naturen et laboratorium, hvor der lokalt er en meget høj koncentration af molekyler, modne til frembringelse af større molekyler. Vekselvirkning med højenergifotoner, kosmiske stråler og kolde elektroner tillader, at der udvikles komplekse molekyler. Omkring protostjerner leder opvarmning og ætsning til yderligere kemiske processer, både inden i den protostellare skive, hvori planeter dannes, og uden for den i supersoniske udstrømninger af gas. Den fremkomne ursuppe i rummet indeholder mange vigtige forløbere for biokemien, og ved en ukendt symmetribrydende proces skabes der oven i købet en overvægt af L- over D-aminosyrer.

Molekylerne omdannes atter og atter i et aktivt område som Orion, de går fra gas til overflade og tilbage igen, og til sidst bliver de indkapslet og beskyttet inden i større partikler. Nogle af disse partikler vokser ved sammenstød - måske til de danner klippestykker af alle størrelser op til planeter, eller måske til de bliver en del af den tidlige Jord ved den meget hurtigere proces gravitationelt kollaps. I soltågens miljø fyldt med

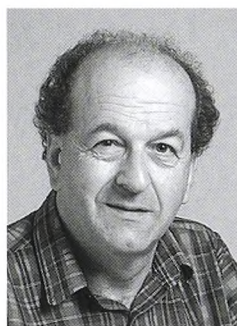
støv regner mikrometeoritter ned på den tidlige Jord for mellem 4,5 og 3,5 milliarder år siden og tilføjer Jorden de basale ingredienser til biokemien.

Hvis dette resumé indeholder de væsentlige elementer af et sandt scenario, fik udviklingen af liv på Jorden helt sikkert en fantastisk kick-start: ingredienserne til biokemien var fiks og færdige til, at udviklingen kunne begynde. Det store problem er selvfølgelig at forbinde, hvad vi ved om fysikken og kemien i stjernedannende områder, med den lange liste af molekyler i Murchison og andre meteoritter. Denne betydelige barriere kan kun overskrides ved mange års ihærdig forskning i laboratoriet og inden for astronomien.

Jeg slutter med to tanker. Den første er denne: lignende biokemisk materiale må være landet på Mars i perioden med bombardement. Hvis Mars til en vis grad er et fossil af den tidlige Jord, kan vi måske finde spor af tidligt liv på Mars, begyndt på samme måde som foreslået ovenfor for Jorden. Måske vil Mars-roverne Spirit og Opportunity, der "følger vandet" på Mars, som NASA formulerer det, kaste lidt lys over dette. Den sidste og afsluttende tanke er følgende: Solen er en ret typisk stjerne, og der er mere end 10 millioner stjerner ligesom Solen i Mælkevejen. Den ene præsolare og solare tåge ligner sandsynligvis meget den anden, og hvis Jordlignende planeter eksisterer andre steder, vil de derfor også blive bombarderet med molekylært manna, som det synes at have været tilfældet på den tidlige Jord. Dette festmåltid af biomolekyler serveres måske overalt, hvor der er Sol-lignende stjerner med planeter. Den store udbredelse af "ekstremofiler", dvs. bakterier, der elsker is eller varme, eller som sidder under en klippeoverflade og fortærer brint og metan, antyder, at hvis man blot skaber de rigtige biomolekyler og giver livet en halv chance for at udvikle sig, så udvikler det sig, selv under de barskeste betingelser. Derfor er der måske liv i hele Universet. Vi får se.

Litteratur

- [1] T. Abel, G.L. Bryan, M.L. Norman (2002), The formation of the first star in the Universe, *Science*, bind **295**, side 93.
- [2] V. Bromm, A. Loeb (2003), The formation of the first low-mass stars from gas with low carbon and oxygen abundances, *Nature*, bind **425**, side 812.
- [3] M. Mayor and D. Queloz (1995), A Jupiter-mass companion to a solar-type star, *Nature*, bind **378**, side 355.
- [4] M.A.C. Perryman (2000), Extra-solar Planets, *Rep.Prog.Phys.*, bind **63**, side 1209.
- [5] O'Dell (2001), The Orion Nebula and its associated Population, *Ann.Rev.Astron.Astrophys.*, bind **39**, side 99.
- [6] F. Lacombe, E. Gendron, D. Rouan, Y. Clénet, D. Field, J.L. Lemaire, M. Gustafsson, A-M. Lagrange, D. Mouillet, G. Rousset and 5 coauthors (2004), VLT/NACO infrared adaptive optics images of small scale structure in OMC1, *Astr.Astrophys.*, bind **417**, side L5.
- [7] P. Schilke, D.J. Benford, T.R. Hunter, D. Lis, T.G. Phillips (2001), A line survey of Orion KL from 607 to 725 GHz, *Astrophys J.Supp.Ser.*, bind **132**, side 281.
- [8] J.B. Pollack, O. Hubickj, P. Bodenheimer, J.L. Lissauer, M. Podolak and Y. Greenzweig, (1996), Formation of the Giant Planets by Concurrent Accretion of Solids and Gas. *Icarus*, bind **124**, side 62.
- [9] A.P. Boss (2002), Evolution of the solar nebula. V. Disk instabilities with varied thermodynamics. *Astrophys.J.*, bind **576**, side 462.
- [10] M. Gustafsson, L.E. Kristensen, Y. Clénet, D. Field, J.L. Lemaire, G. Pineau des Forêts, D. Rouan and E. Le Coarer (2003), New insight into shocks and star formation in Orion: first light with GriF. *Astron.Astrophys.*, bind **411**, side 437.
- [11] G.M. Munoz Caro, U.J. Meierhenrich, W.A. Schutte, B. Barbier, A. Arconers Segovia, H. Rosenbauer, W.H-P. Thiemann, A. Brack and J.W. Greenberg (2002), *Nature*, bind **416**, side 403.
- [12] P.E. Nielsen (1999), Peptide Nucleic Acids. Methods and Protocols. Methods in Molecular Biology, Humana Press. ISBN. 0-89603-976-5
- [13] G. Cooper, N. Kimmich, W. Belisle, J. Sarinama, K. Brabham and L. Garrel (2001), Carbonaceous meteorites as a source of sugar-related organic compounds for the early Earth. *Nature*, bind **414**, side 879.
- [14] Y. Huang, Y. Wang, M. De'Rosa, M. Fuller and S. Pizzarello (2004), Molecular and compound-specific isotopic study of monocarboxylic acids in Murchison and Antarctic meteorites. *Lunar and Planetary Science*, bind **XXXV**, side 1888.
- [15] S. Pizzarello, M. Zolensky and K.A. Turk (2003), Non-racemic isovaline in the Murchison meteorite: chiral distribution and mineral association. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, bind **67**, side 1589.
- [16] F.F.S. van der Tak, P. Schilke, H.S.P. Müller, D.C. Lis, T.G. Phillips and E. Roueff (2003), Triply Deuterated ammonia in NGC1333, *Astron.Astrophys.*, bind **388**, side L53.
- [17] M. Maurette (1998), Micrometeorites on the early Earth. Kap. 7 af "The molecular origins of life: assembling pieces of the puzzle", ed. A. Brack. CUP 1998. ISBN 0 521 56475 1. Dette er en fremragende introduktionstekst til Astrobiologi, men er dog lidt forældet nogle steder.



David Field arbejder på Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet inden for områderne observationel astronomi og kollision med kolde elektroner.

Tæt på nanotech

Rune Thode Nielsen, Ungdommens Naturvidenskabelige Forening.



Figur 1. Gruppebillede af deltagere og aktive på Nano Camp 2004. Foto: Ingo Nielsen

27 nørder, der sad med deres næsten uforståelige fagbøger døgnet rundt. En uge hvor man koncentrerede sig 120% og alligevel kun forstod halvdelen. Måske en anelse overdrevet, men alligevel en typisk frygt blandt os deltagere på UNF's Nano Camp. Det viste sig dog straks at det nærmeste vi kom på bøger, var på selve ankomstdagen, hvor vi slog hinanden i hovedet med sammenrullede aviser under påskud af at lege 'navneleg'. Et godt sammenhold opstod utrolig hurtigt, takket være et godt socialt program. Selvom man nok kan definere det som en sidegevinst ved en videnskabelig tur, var det en vigtig opdagelse for mange af os og med til at afmystificere begrebet "naturvidenskabeligt interesserede unge".

Det lyder måske ikke til at være tilfældet, men der var rent faktisk også et fagligt program - ret stort, til alt held. Vi blev smidt hårdt og brutalt på fra mandag morgen med en dags forelæsninger om eksempler på

nanoteknologi. F.eks. kan nævnes gekkotape, en tape der bygger på en teknologi som forskere har afluret gekkoen. På gekkoens fødder sidder millioner af små hår, der kommer så tæt på materialet under sig at Van der Waals kræfter bliver tilstrækkeligt store til at holde gekkoen fast på selv glasplader; gekkotape bygger altså på samme princip.

Hovedaktiviteten var selvfølgelig laboratorieaktiviteterne, hvor vi prøvede kræfter med tre forskellige øvelser. I den første øvelse byggede vi nanokrystallinske solceller, der ved hjælp af knuste brombær og titandioxid placeret mellem to glasplader kunne bruges til at generere strøm, mens vi i den anden øvelse undersøgte molekylærstrukturer ved hjælp af en Nuclear Magnetic Resonance (NMR) skanner. I bund og grund samme apparat som hospitalernes MR-scannere, bortset fra at disse har fået fjernet det politisk ukorrekt klingende "N" for "Nuclear". I STM-øvelsen undersøgte vi en overflade ved hjælp af et Scanning Tunnelling Microscope, et mikroskop der gør det muligt at se enkelte atomer. Især dette apparat, med sit vakuum-kammer og mystiske instrumenter strittende til alle sider, var populært hos de mange journalister og fotografer, der kiggede forbi i løbet af ugen.

Alt i alt et sjovt og spændende forløb, der ikke blev værre af god mad hver dag og masser af aktiviteter, bl.a. daglig aftenbadetur, når "arbejdsdagen" var forbi. Det er da heller ikke for ingenting at jeg har lagt billet ind på at hjælpe med arrangementen af Nano Camp 2005!

Rune Thode Nielsen blev student i år og deltog på Nano Camp. Han har meldt sig til at hjælpe med arrangementen af Nano Camp 2005.

Læs mere om UNFs nano-sommerskole på www.nano.unf.dk