



- BERING – DANMARKS FØRSTE DEEP-SPACE MISSION ●
- NYHEDER FRA AS, DFS, DGF, SNU OG KVANT ● OPGAVER ●
- UNIVERSETS ALDER OG DE FØRSTE TUNGE GRUNDSTOFFER ●
- FRA HVEN TIL RUMMET ● FEMTOSEKUND RØNTGEN-DIFFRAKTION ●
- CORIOLIS OG CORIOLISKRAFTEN ● FAIR PLAY ● KOPERNIKURSUS 2002 ●

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

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

Udgives af
Astronomisk Selskab
Dansk Fysisk Selskab
Dansk Geofysisk Forening
Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Redaktion
Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv. red.)
DCESS, NBI/AFG, KU
Michael Cramer Andersen (nyhedsred.)
Astronomisk Observatorium, KU
Camilla Bacher
Kemisk Institut, KU
Jørgen Friis Bak
Aarhus Universitet
Jørn Johs. Christiansen
Roskilde Kathedralskole
Torsten Freltoft
Sophion Bioscience A/S
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut, KU
Finn Berg Rasmussen
Ørsted Laboratoriet, KU
Svend E. Rugh
Ove Østergaard
Silkeborg Amtsgymnasium

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

Annoncepriser
1/1 side 3000 kr
1/2 side 1600 kr
1/4 side 1000 kr
Farvetillæg 1800 kr

Priserne er excl. moms og for reproklart materiale. Henv. om annoncer til redaktøren, tlf. 35 32 05 73 / fax 35 32 05 76. Henv. vedr. abonnement til forretningsfører Lene Kørner tlf. 35 32 07 62 (koerner@math.ku.dk).

Oplag: 3.000. Tryk: P. J. Schmidt A/S, Vojens. ISSN 0905-8893



Produktionsplan
Nr. 3-02 udkommer ca. 15. september
Nr. 4-02 udkommer ca. 15. november
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

Indhold:

Femtosekund Røntgen-diffraktion <i>Christian Rischel</i>	3
Universets alder og de første tunge grundstoffer <i>Birgitta Nordström og Johannes Andersen</i>	6
Fra Hven til rummet – Om betydningen af Tycho Brahes observationer <i>Erling Poulsen</i>	9
Coriolis og corioliskraften <i>Niels Kristian Højerslev</i>	12
Breddeopgaver nr. 7 og nr. 8 <i>Jens Højgaard Jensen</i>	16
Fair play <i>Mogens Esrom Larsen</i>	17
Nyt fra Dansk Geofysisk Forening	21
Nyt fra Dansk Fysisk Selskab	21
Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse	22
Nyt fra Astronomisk Selskab	23
Løsninger og kommentar til breddeopgaver <i>Jens Højgaard Jensen</i>	24
Er du nørd? <i>Kopernikursus 2002</i>	25
Bering – en lille rumsonde med et stort navn. Danmarks første deep-space mission <i>John Leif Jørgensen, Anja C. Andersen, Henning Haack og René Michelsen</i>	26
Kvant-nyheder <i>Michael Cramer Andersen</i>	29
Kupon til abonnement på Kvant	31

Henvendelser vedrørende abonnement og adresseændring bedes ske til Lene Kørner (koerner@math.ku.dk, telefon 35 32 07 62). Kvant udsendes gratis til alle landets gymnasier, HF-kurser, tekniske skoler, seminarier m.fl. Hvis du er lærer et af disse steder og din arbejdsplads ikke modtager Kvant opfordres du også til at rette henvendelse til Lene Kørner. Bestilling af classesæt og ældre numre af bladet (20 kr. / stk.) kan ske på kvant@nbi.dk.

Forsiden:

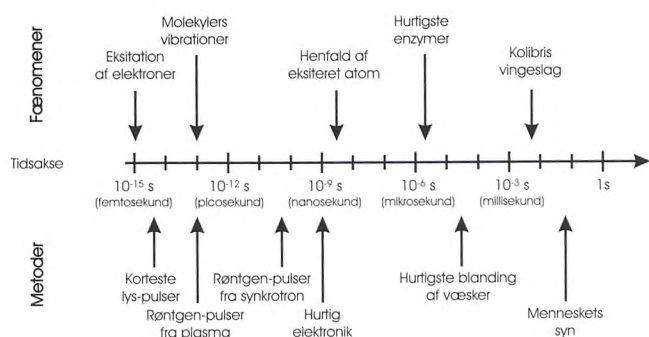
KRABBETÅGEN

– den berømte supernovarest fra 1054. Nydannede tunge grundstoffer er på vej til næste stjernefødsel. Læs mere i artiklen om universets alder og de første tunge grundstoffer af Birgitta Nordström og Johannes Andersen på side 6 (Ill.: ESO).

Femtosekund Røntgen-diffraktion

Christian Rischel, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, og Institut for Matematik og Fysik, Landbohøjskolen

Til at studere tidsafhængige fænomener kræves tidsopløste eksperimenter. Figur 1 angiver de karakteristiske tider for nogle fænomener i naturen, sammen med de eksperimentelle teknikker der kan anvendes på forskellige tidsskalaer. Processer, der sker langsommere end ca. 1 nanosekund kan man følge med elektronisk apparatur, mens væsentligt bedre tidsopløsning kræver anvendelse af korte pulser af stråling, der kan måle på reaktionen i et ekstremt veldefineret tidsrum. Det ses af figuren, at de korteste lys-pulser er hurtigere end en typisk periode for vibrationer af atomerne i molekyler eller fast stof, hvilket betyder, at man faktisk kan følge selv de hurtigste ændringer af strukturen!



Figur 1. Logaritmisk tidsakse, med angivelse af typiske tider for nogle fænomener i naturen, og de metoder man kan anvende til at studere dem.

Et andet spørgsmål er imidlertid hvilke oplysninger man kan opnå om sådanne processer. Med lys-pulser kan man lave forskellige former for spektroskopi, men derved kigger man fortrinsvis på de løsest bundne elektroner, og opnår kun meget indirekte viden om hvordan atomernes positioner ændrer sig. En langt stærkere teknik er Røntgen-diffraktion, som ligger bag hele vores forståelse af stoffers atomare struktur. Man kan derfor lidt flot sige, at femtosekund Røntgen-diffraktion er det ultimative tidsopløste forsøg, idet den vigtigste eksperimentelle teknik her anvendes på den hurtigste relevante tidsskala. Jeg vil i denne lille artikel skitsere baggrunden for disse eksperimenter, som p.t. er under udvikling [1, 2, 3].

Et simpelt eksempel på en ultrahurtig reaktion er *fotodissociation* af molekyler, som skitseret i figur 2. En ultrakort lys-puls rammer molekylet, som derved bliver bragt i en ustabil tilstand, og i løbet af ganske kort tid bevæger molekylets dele sig fra hinanden. En proces af samme karakter kan foregå i krystaller, hvor atomerne også normalt bliver holdt på faste pladser af kræfter, som skyldes stoffets elektroner. Hvis tilstrækkelig mange af elektronerne eksiteres af en lys-puls ændres kræfterne, så positionerne af atomerne ikke længere er

stabile, og deres bevægelser forandrer lynhurtigt krystallen til en væske. Som jeg beskriver nedenfor er denne proces en af de første, som er blevet studeret med ultrahurtig Røntgen-diffraktion.

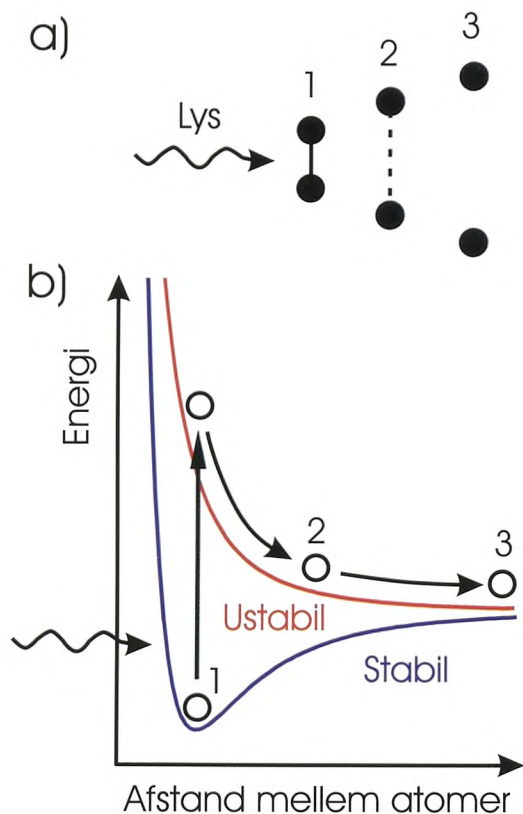
Et af de ultrahurtige fænomener af biologisk interesse er *fotoisomerisering*, som blandt andet spiller en vigtig rolle i vores syn. Når molekylet retinal bliver ramt af lys vil de ændrede kræfter i den eksiterede tilstand hurtigt føre til en ny struktur (isomer), som vist i øverste del af figur 3. Nederste del af figuren viser hvorledes retinal er indlejret i proteinet rhodopsin, som findes i vores nethinde. Når nethinden rammes af lyset opfanger proteinet ændringen af retinals struktur og sender informationen videre til nervesystemet. Den viste struktur af rhodopsin er fundet ved Røntgen-diffraktion uden tidsopløsning; at følge de ultrahurtige strukturændringer direkte er et af de ambitiøse, fremtidige mål for de tidsopløste eksperimenter.

Femtosekund Røntgen-pulser

Til eksperimenter med Røntgen-diffraktion kræves en kilde til Røntgen-stråling. Det første man her vil tænke på er *synkrotroner*, som er store, moderne faciliteter med ekstremt intense Røntgen-kilder. Synkrotron-stråling kommer endda i temmelig korte pulser, men som det kan ses på figur 1 er de desværre stadig ca. 1000 gange for lange. For at få ultrakorte Røntgen-pulser må man anvende en helt anden teknik, nemlig at fokusere en intens, kort puls af laser-lys på en fast overflade.

Lasere, der udsender lys-pulser kortere end 1 picosekund blev udviklet sidst i 1970'erne, og der har siden været en stadig udvikling mod kortere pulser, der som nævnt ovenfor anvendes til spektroskopiske undersøgelser af ultrahurtige fænomener. Der er også sket en voldsom forøgelse af pulsenes energi, således at man i dag i en fokuseret stråle kan have intensiteter på over 10^{21} W/cm². Ved fokusering på metallers overflade vil man allerede ved langt lavere intensiteter skabe en puls af Røntgen-stråling, som skitseret i figur 4. Varigheden vil være omtrent den samme som varigheden af den anvendte laser-puls. Denne kilde er derfor p.t. den bedste til ultrahurtige tidsopløste Røntgen-eksperimenter, selv om intensiteten er langt, langt svagere end for en synkrotron.

Princippet i et ultrahurtigt tidsopløst forsøg er vist i figur 5. Den proces, som man ønsker at studere, startes ved at en lys-puls eksiterer prøven. Et stykke tid t senere ankommer probe-pulsen, og undersøgelse af denne puls' vekselvirkning med prøven viser reaktionens udvikling på dette tidspunkt. Ved at gentage forsøget mange gange med forskellige værdier af t kan



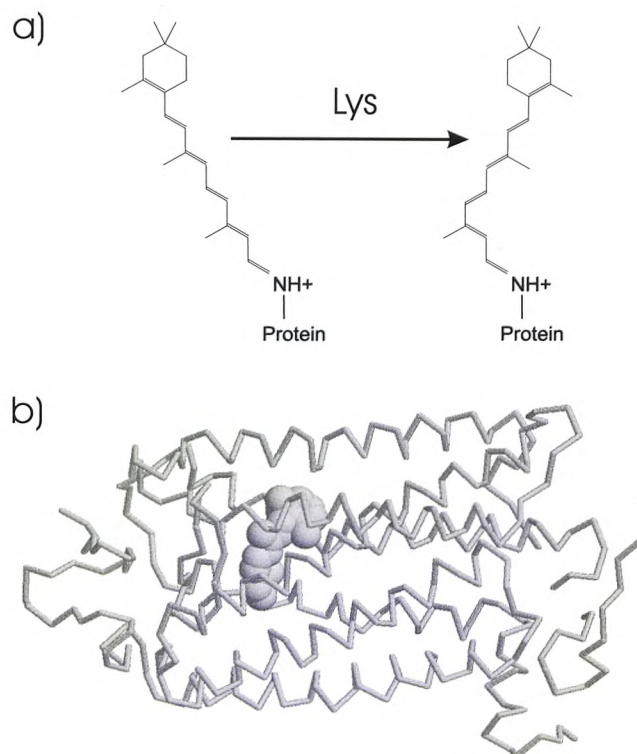
Figur 2. Fotodissociation. a) Princip: En foton rammer et molekyle (her med to atomer), som herved slås i stykker. b) Energidiagram for processen. Før sammenstøddet er molekylet i sin grundtilstand (blå), hvor det er stabilt. Fotonen bringer molekylet i en eksiteret tilstand (rød), hvor bevægelsen mod lavere energi fører atomerne væk fra hinanden.

man rekonstruere forløbet som funktion af tiden.

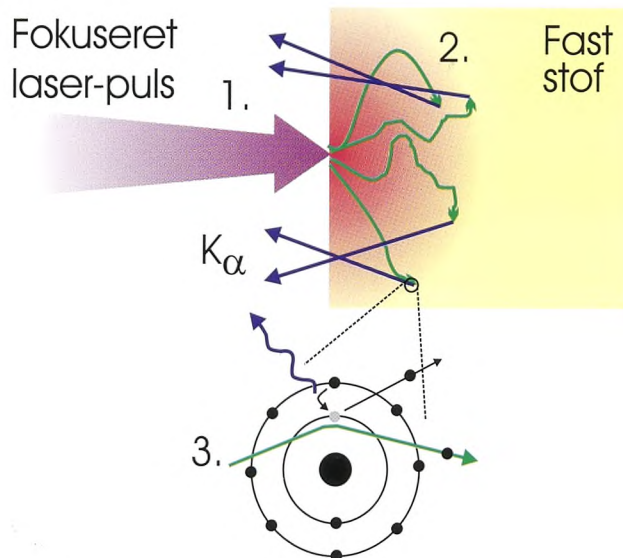
Ultrahurtig smeltning

Som nævnt har en af de første anvendelser været undersøgelse af ultrahurtig smeltning af krystaller, nærmere bestemt halvledere såsom GaAs og InSb. Under sædvanlige omstændigheder starter smeltning af et fast stof ved overfladen og bevæger sig forholdsvis langsomt indad, men ved eksitation med en intens laser-puls kan processen bringes til at forløbe langt hurtigere. På grund af den periodiske orden spreder (diffrakterer) krystaller Røntgen-stråling i bestemte retninger, givet ved Braggs formel $\lambda = 2d \sin \theta_B$, hvor λ er strålingens bølgelængde, d er gitterets periode og θ_B er strålingens vinkel med gitterplanerne (figur 6a). Når krystallen smelter tabes dens orden (figur 6a), og spredningen af Røntgen-stråling falder drastisk.

Figur 7 viser intensiteten af spredning fra en krystal af InSb som funktion af tiden [3]. Røntgen-diffraktionen finder i dette tilfælde sted i de yderste 0,2 μm af prøven. Til tiden $t = 0$ bliver overfladen ramt af

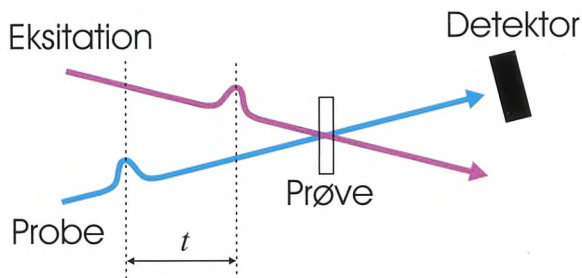


Figur 3. Fotoisomerisering af retinal. a) Når retinal-molekylet i dets grundtilstand (venstre) bliver eksiteret af lys, fører de ændrede kræfter mellem atomerne til en hurtig ændring af strukturen. b) Retinal indlejret i proteinet rhodopsin. Kun proteinets hovedkæde er vist, mens retinal er tegnet i kalot-model.



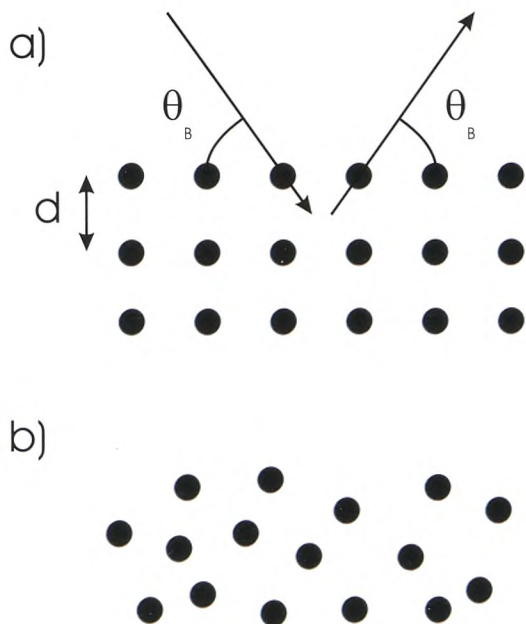
Figur 4. Sådan laves ultrakorte Røntgen-pulser. 1. En intens, ultrakort laser-puls (bølgelængde 800 nm, varighed 100 fs, energi 20 mJ) fokuseres på en fast overflade. 2. Ved fokuserede intensiteter over 10^{14} W/cm^2 accelereres elektroner ved overfladen til energier på mange keV, og trænger derefter ind i stoffet. 3. Ved kollisioner mellem de hurtige elektroner og stoffets atomer slås elektroner fra K-skallen ud. Meget kort tid efter falder en elektron fra L-skallen ind på den tomme plads i K-skallen, og der udsendes en foton med en energi, som er forskellen mellem energien i de to skaller (K_α -stråling).

en laser-puls, som eksiterer en del af stoffets elektroner. I løbet af ca. 1 picosekund har atomernes bevægelser fået diffraktions-signalet til at falde til ca. 60% af den oprindelige værdi. Grunden til, at den spredte intensitet ikke falder til nul er, at det smeltede lag er mindre end $0,1 \mu\text{m}$ tykt. Smeltningen sker væsentligt hurtigere end den tid, som det normalt tager for eksiterede elektroner at overføre deres energi til atomernes bevægelser, og interessen for ultrahurtig smeltning har navnlig skyldtes dette uligevægts-aspekt, som genfindes i visse kemiske og biologiske reaktioner.



Figur 5. Skitse af princippet i ultrahurtig spektroskopi.

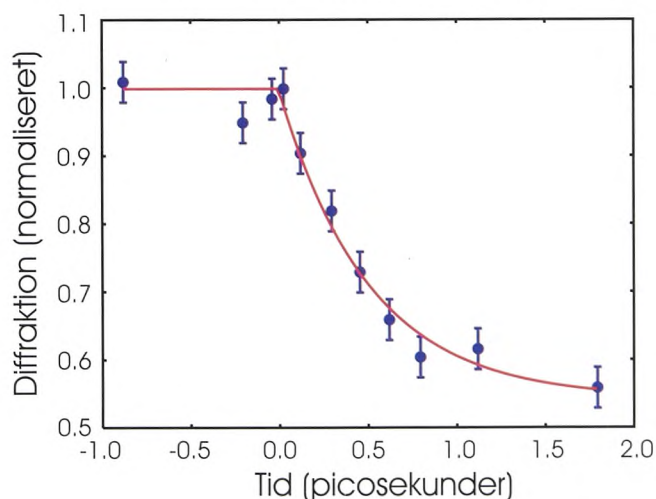
Vores næste mål i udviklingen af femtosekund Røntgen diffraktion er at undersøge denne type reaktioner i mere komplekse molekyler [2]. Selv meget store molekyler kan danne krystaller, og diffraktionen kan i dette tilfælde vise ikke bare krystallens orden, men også strukturen inden i byggestenene. Dette er et langt vanskeligere forsøg end eksperimenterne på halvledere, idet der skal måles refleksioner i mange forskellige git-



Figur 6. Spredning af Røntgen-stråling afslører krystallinsk orden. a) Ordnet krystal. Intens spredning af Røntgen med bølgelængde λ ved vinklen θ_B . b) Flydende stof. Spredrer ikke Røntgen i bestemte retninger.

terplaner for at man kan beregne molekyllernes struktur. Hertil kommer, at molekyllære krystaller spredte Røntgen-strålingen langt svagere. De indledende tests antyder dog, at det burde være muligt at arbejde i hvert fald med mindre molekyler.

Det er vores håb, at vi med disse eksperimenter inden for de næste 5–10 år kan bidrage væsentligt til forståelsen af de hurtigste strukturændringer i små og store molekyler. Arbejdet er samtidig en forberedelse til anvendelsen af synkrotronernes efterfølgere, som er under udvikling i Hamburg og på Stanford University. Disse faciliteter forventes klar ved starten af næste årti, og med pulslængder på 80 fs og kolossale intensiteter vil de gøre det muligt at undersøge ultrahurtige processer i selv de mest komplicerede proteiner.



Figur 7. Ultrahurtig smeltning af InSb. Til tiden $t=0$ bliver krystallen ramt af en laser-puls (100 fs , 0.2 J/cm^2). Y-aksen viser intensiteten af Røntgen-diffraktionen, normaliseret til værdien før $t=0$. Den røde kurve beskriver et eksponentielt henfald.

Referencer:

- [1] C. Rischel, A. Rousse m.fl. (1997) *Nature*, bind **390**, side 490-492.
- [2] A. Rousse, C. Rischel og J.-C. Gauthier (2001) *Reviews of Modern Physics*, bind **73**, side 17-31.
- [3] A. Rousse, C. Rischel m.fl. (2001) *Nature*, bind **410**, side 65-68.



Christian Rischel er forskningslektor i biofysik ved Niels Bohr Institutet og Institut for Matematik og Fysik, Landbohøjskolen.

Universets alder og de første tunge grundstoffer

Birgitta Nordström, NBI/AFG, Københavns Universitet, og Lunds Observatorium, Sverige, og Johannes Andersen, NBI/AFG, Københavns Universitet.

I millioner af år efter Big Bang bestod Universet kun af brint og helium plus en ubetydelighed lithium. Alle de andre grundstoffer er derefter opbygget ved kernereaktioner inden i stjerner (lithiumisotopen ${}^6\text{Li}$, beryllium og bor er undtagelser, som bekræfter reglen). Oprindelsen til de tungere grundstoffer – startende med det kulstof og ilt, vi selv består af – er således uløseligt forbundet med dannelsen af de første stjerner og galakser i Universet. Men hvordan så disse første stjerner ud? Hvilke kerneprocesser var de vigtigste dengang? Og kan de hjælpe os til at tidsfæste selve Big Bang?

Trods stædig søgen er der ikke fundet stjerner af det originale materiale fra Big Bang. Men i vor egen Mælkevej er der identificeret stjerner, som ser ud til at tilhøre generationen umiddelbart efter. I deres indhold af tunge grundstoffer er resultatet af den allerførste kernesyntese arkiveret. Som vi skal se, kan de tilmed gemme et radioaktivt ur, som blev startet i Universets tidligste barndom og har tikket uforstyrret siden da.

Grundstofsyntese i stjerner

Som bekendt “finansierer” stjernerne deres udstråling ved at forbrænde brint til helium og endnu tungere grundstoffer ved kerneprocesser i deres indre (se f.eks. [1]). En stjerne som Solen har holdt sig i gang ved at forbrænde brint til helium siden sin fødsel for 4.6 mia år siden og kan blive ved mindst lige så længe endnu. Stjerner med væsentlig større masser har langt højere centralt tryk og temperatur. De kan derfor forbrænde helium videre til kulstof og ilt og endnu tungere grundstoffer under stadig højere temperaturer i dybere og dybere skaller i stjernen. Når stjernen til sidst eksploderer som en supernova, spredes de nydannede kerner ud i rummet og indgår i næste generation stjerner (se billedet på Kvants forside). Disse får derved en stadig voksende koncentration af tungere grundstoffer – af astronomer lidt sløset under ét kaldet “metaller”, selv om mange, f.eks. kulstof, ilt og silicium, strengt taget ikke er det.

Disse processer frigør kun energi, hvis de ny kerner har mindre masse, dvs. større bindingsenergi end “brændslet”. Når grundstofopbygningen når til jern (atomvægt 56), er bindingsenergien maksimal, og der kræves *tilførsel* af energi for at opbygge endnu tungere grundstoffer. Opbygningen stopper derfor ved jern. Men hvordan produceres så grundstofferne mellem jern og uran, det tungeste naturligt forekommende grundstof (atomvægt 238) – inklusive så værdifulde sager som sølv, guld og platin?

Ved en supernova-eksplosion opstår et overskud af neutroner i stjernens centrale dele, og de nydannede grundstoffer udsættes for en heftig neutronbestråling. Kernernes positive ladning frastøder ikke neutronerne, så kernerne “pumpes” hurtigt op til en høj atomvægt. Men kerner med stort neutronoverskud er ustabile; en neutron henfalder snart til en proton og en elektron (β -henfald), og atomet rykker op på næste trin i det periodiske system. Balancen mellem neutronindfangning og β -henfald bestemmer den mængde af hvert grundstof og isotop, som når at dannes, inden neutronkilden dør ud. Ved denne såkaldte r-proces (*r* for “rapid”) fyldes det periodiske system op på få sekunder, fra jern til og med uran.

Tunge grundstoffer kan også opbygges mere stilfærdigt i højt udviklede stjerner på blot et par solmasser. Ved forbrænding af bla. kulstof yderst i centralområdet opstår et mindre overskud af neutroner, som indfanges af jern- og andre tunge kerner. Dette foregår så langsomt, at kernen når at opleve et β -henfald og tage et skridt opad i det periodiske system inden næste neutrons ankomst. Når stjernen blæser de ydre lag af på vej mod sit slutstadium som hvid dværgstjerne, går disse nye grundstoffer videre i kredsløbet. Denne såkaldte s-proces (*s* for “slow”) behøver imidlertid “metal”-kerner fra en tidligere generation stjerner som “kim”, og den kan ikke opbygge de allertungeste grundstoffer.

Stoffet i vor Sol har bidrag fra alle disse processer i 5–10 mia års utalte generationer stjerner i Mælkevejen, før Solen blev dannet. De tunge grundstoffer udgør knap 2% heraf efter vægt, og isotopforholdene er bestemt i stor detalje ved analyse af meteoritter. r- og s-processerne producerer de forskellige grundstoffer og deres isotoper i helt forskellige blandingsforhold; ved studium af de enkelte isotoper kan man derfor skønne over de to processers bidrag til hvert enkelt af de tungere grundstoffer. Nogle, som f.eks. bly, skyldes næsten udelukkende s-processen; andre, som europium, thorium og uran, er rene r-proces produkter.

De første stjerner

Længe mente man, at de kugleformede stjernehober indeholdt Mælkevejens ældste stjerner. De har også meget lavt indhold af tungere grundstoffer, som man ville vente fra ovenstående beskrivelse, men dog mindst ca. 0.01% (0.5% af Solens indhold). Stjerner med præcis 0% tunge grundstoffer er aldrig fundet, men der kendes nogle hundrede med metalindhold i intervallet 0.01%–0.0002%, altså 200–10.000 gange mindre end i Solen. Hvis billedet af stoffets gradvise berigelse er no-

genlunde korrekt, skulle disse stjerner være endnu ældre end kuglehobene.

Selv om vi ikke finder stjerner af første generation, ser vi måske derfor her nogle af deres umiddelbare efterkommere. Denne opfattelse støttes af foreløbige analyser af deres indhold af tunge grundstoffer, som viser sig at være rene r-proces produkter. De synes altså dannet i meget tunge stjerner, som ikke behøvede præfabrikerede "kim" til neutronindfangningen. Dette igen stemmer med nye beregninger af stjernedannelsen i gasskyer lige efter Big Bang, som forudsiger mindstemasser på hundredvis af solmasser (se f.eks. [2]).

Virkelige anden-generations stjerner synes at udvise endnu større fantasi end teoretikerne mht. varieret grundstofproduktion. Men præcisionsanalyse af disse svage stjerner er for krævende for traditionelle 4m teleskoper; men ESOs 8m *Very Large Telescope* og UVES-spektrografens kombination af høj opløsning og høj effektivitet er som skabt hertil. Vi samlede derfor de fleste europæiske grupper på feltet i ét konsortium og redegjorde for, at VLT på netop dette felt kunne skabe et regulært gennembrud. Og fem års sejt, forberedende observationsarbejde havde resulteret i en liste med de allerbedste "lækkerbiskener". Strategien virkede: Vi fik tildelt hele 40 observationsnætter på VLT i 2000-2001.

CS 31082-001: En regulær skatkiste

På en af de første observationsnætter observerede vi en relativt klar stjerne med det "poetiske" navn CS 31082-001. Som forventet var spektrallinierne af jern, mangan mv. meget svage, afspejlende en hyppighed af disse grundstoffer på ca. 1/800 af Solens. Stjernen må altså være dannet meget tidligt, nok højst en mia år efter Big Bang. Men spektret vrimlede desuden med linier af sjældne tungmetaller som europium, holmium, osmium og iridium – typiske r-proces produkter. Mere forbløffende var hele 14 linier af thorium, hvoraf man typisk blot ser en enkelt: Relativt til jern indeholder stjernen 70 gange mere thorium end Solen. Febrilsk ledte vi ved bølglængden 386 nm, hvor den stærkeste uran-linie findes: Var den synlig?? Jo, minsandten (figur 1)! Et "Letter" til *Nature* [3] gik afsted med ekspresfart.

Hvorfor var det så sensationelt at finde uran i en så gammel stjerne? Nogle få gamle stjerner med stor overhyppighed af r-proces produkter var allerede kendt. Én har tilmed en linie med den rette bølglængde; men desværre skyldes den CN, idet stjernen også er rig på kulstof. Sådanne stjerner viser direkte, at første generations supernovaer i visse tilfælde kunne producere helt unormale grundstoffblandinger; hvordan dette sker, er et ubesvaret spørgsmål. Men den helt store gevinst ligger i muligheden for en direkte, præcis bestemmelse af supernovaens alder – og dermed både Mælkevejens og Universets.

Radioaktive aldersbestemmelser

Måling af en radioaktiv isotops henfald i forhold til en stabil isotop er en standardteknik i arkæologi og geologi. Kender man radioisotopens halveringstid og det oprindelige forhold, kan tiden fra kernernes dannelse bestemmes. Den mest kendte version er kulstof-14 metoden, som fornylig er beskrevet detaljeret her i bladet [4]. Men ^{14}C selv (halveringstid 5730 år) kan ikke bruges her; blot siden Solens dannelse er der gået ca. 800.000 halveringstider. Selve tallet siger måske ikke så meget; men om så hele Universet bestod af lutter ^{14}C ved Solens dannelse, ville der ikke være et eneste ^{14}C atom tilbage i dag!

De langlivede isotoper af thorium og uran er derimod velegnede. ^{232}Th (halveringstid 14.1 mia år) har været anvendt med europium (et andet r-proces produkt) som stabil reference. Det har hidtil givet plausible resultater under den antagelse, at alle stjerner dannes med samme Th/Eu forhold som Solen. Men det såkaldte Th/Eu "kronometer" har to svage punkter: Præcision og nøjagtighed – to principielt forskellige begreber.

Tiden T siden dannelsen af to grundstoffer R og S , hvis forhold aftager en faktor 10 i tiden $t_{1/10} = t_{1/2} \log 10$, hvor $t_{1/2}$ er den sædvanlige halveringstid, kan udtrykkes:

$$T = t_{1/10} \left(\log \left(\frac{R}{S} \right)_0 - \log \left(\frac{R}{S} \right)_{\text{nu}} \right), \quad (1)$$

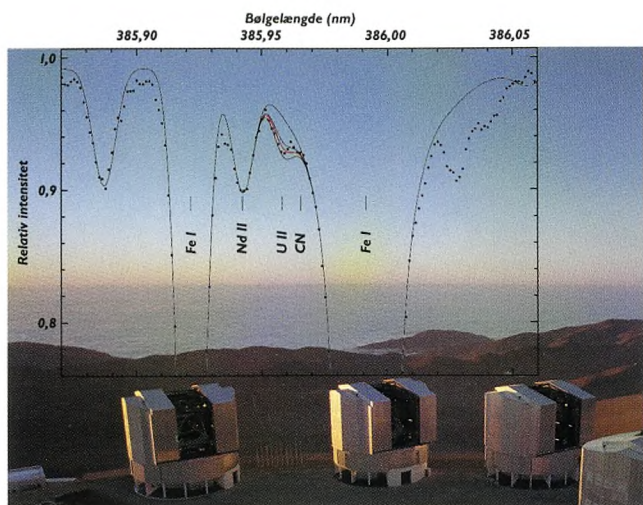
hvor $(R/S)_0$ er det oprindelige og $(R/S)_{\text{nu}}$ det nu målte forhold mellem de to isotoper.

Som man ser, bliver usikkerheden på T også $t_{1/10}$ gange usikkerheden i forholdene på højre side. Alle realistiske fejlkilder medregnet er denne ikke under 25% eller 0.1 i logaritmen (0.1 dex). For $R/S = \text{Th}/\text{Eu}$ er $t_{1/10} = 46.7$ mia år. Th/Eu kronometret har derfor en indbygget " aflæsningsfejl " på næsten 5 mia år – knap så anvendeligt. Men endnu værre: I CS 31082-001 er Th/Eu forholdet større end den hidtil accepterede oprindelige værdi. "Kronometret" viser således efter 12–15 mia år formelt en negativ alder, en noget pinlig situation for et kronometer. Th og Eu produceres øjen-synlig ikke altid i samme forhold...

Uran har her to vigtige fordele. For det første er $t_{1/10}$ for ^{238}U "kun" 14.8 mia år ($t_{1/2} = 4.5$ mia år), så observationsfejl giver nu kun en usikkerhed på 1.5 mia år i alderen. For det andet kan vi benytte Th som den "stabile" reference, idet $t_{1/10}$ for forholdet $^{238}\text{U}/^{232}\text{Th}$ er 21.2 mia år, svarende til en usikkerhed i alder på ca. 2 mia år.

U/Th giver altså et mindre tab på gyngerne; men til gengæld vinder vi stort på karrusellerne. Både atom- og kernestruktur for U og Th ligner nemlig hinanden så meget, at fejl i de spektroskopiske bestemmelser udlignes i høj grad i forholdet U/Th. Men en endnu vigtigere gevinst er, at det kernefysiske beregnede produktionsforhold for nabokerner som ^{238}U og ^{232}Th er

langt mere robust end for $^{232}\text{Th}/^{151,153}\text{Eu}$. Sammenlagt forfines både aktuel aflæsning og oprindelig “urstand”, da U/Th kronometret i CS 31082-001 startede i en fjern fortid.



Figur 1. Det observerede (prikker) og beregnede spektrum (linier) for CS 31082-001. Den øverste linie er beregnet helt uden uran, den røde linie for den bedste værdi. VLT ses som baggrund (Ill: ESO/Tycho Brahe Planetarium/Anne Marie Brammer).

Tilbage til laboratoriet – og rummet

For at omsætte målte liniestyrker til nøjagtige grundstofhyppigheder skal de atomare parametre (levetider, oscillatorstyrker, hyperfinstruktur mm.) være nøjagtigt kendt: Fejl i oscillatorstyrken slår direkte igennem som fejl i alderen. Vore kolleger ved Afdelingen for Atom-spektroskopi ved Lunds Universitet reagerede straks og har allerede målt nye, meget nøjagtige værdier for både U og Th på Lunds Laser Center ([5]).

I samarbejde med kernefysikere i Bruxelles og Mainz søger vi også at mindske usikkerheden i det oprindelige produktionsforhold. En vigtig test er her hyppighederne af andre tunge grundstoffer i CS 31082-001, især bly og vismut, som produceres ved henfald af U og Th, men ellers (næsten) ikke i r-processen. Linier af disse grundstoffer ses desværre ikke i vores fremragende VLT-spektre – de stærkeste linier i det ultraviolette når ikke gennem atmosfæren. Men heldigvis har vi netop fået bevilget tid på *Hubble Space Telescope* til at måle disse linier fra rummet, så vi kan forbedre kronometret også på dette punkt.

P.t. viser kronometret $13,4 \pm 2$ mia år. Det er ene-

stående ved, at det gik i gang i det øjeblik, en supernova producerede uran- og thorium-atomerne en lille mia år efter Big Bang. Siden har det gået støt, styret af det radioaktive henfald. Hvornår CS 31082-001 selv blev dannet undervejs, om vi forstår sådanne stjerners udvikling korrekt, om Mælkevejen allerede var dannet, og hvordan den siden har udviklet sig, er altså uden betydning. Jagten på flere “ure” af samme slags er derfor gået ind for alvor; det bliver spændende at se, hvad de viser!

Referencer:

- [1] B. Pagel (1997) “Nucleosynthesis and Chemical Evolution of Galaxies”, Cambridge Univ. Press.
- [2] R. B. Larson og V. Bromm (2001) “The First Stars in the Universe”, *Sci. Am.*, december, side 52.
- [3] R. Cayrel m.fl. (2000) “Measurement of stellar age from uranium decay”, *Nature*, bind 409, side 691.
- [4] J. Heinemeier og N. Rud (2001) “Hvad isotoperne fortæller om de forsvundne vikinger på Grønland”, *Kvant*, bind 12, nr. 1, side 3.
- [5] H. Nilsson m.fl. (2002) “Experimental oscillator strengths of U II of cosmological interest”, *Astron. & Astrophys.*, i trykken.



Birgitta Nordström deler sin tid mellem NBIAFG i København og Lunds Observatorium i Sverige. Hendes forskningsområde er Mælkevejens udvikling.



Johannes Andersen arbejder på NBIAFG i København med Mælkevejens udvikling og astronomisk instrumentering som hovedemner.

Fra Hven til rummet – Om betydningen af Tycho Brahes observationer

Erling Poulsen, Rundetaarn.

Et livslangt projekt

I 1563 sad den 16-årige Tycho Brahe i al hemmelighed om natten i et loftsvindue og studerede planeterne Saturn og Jupiters færd mellem stjernebillederne. Det foregik i Leipzig, hvor han var kommet for at studere jura, fordi han som adelssøn skulle have en karriere i statsadministrationen. Han fik dog ikke læst så meget, da juraen ikke havde hans store interesse. I stedet dyrkede han sin lidenskab, astronomien, men det måtte ske i hemmelighed, for med ham havde forældrene sendt en hushovmester, Anders Sørensen Vedel, som skulle holde ham ved studiet.

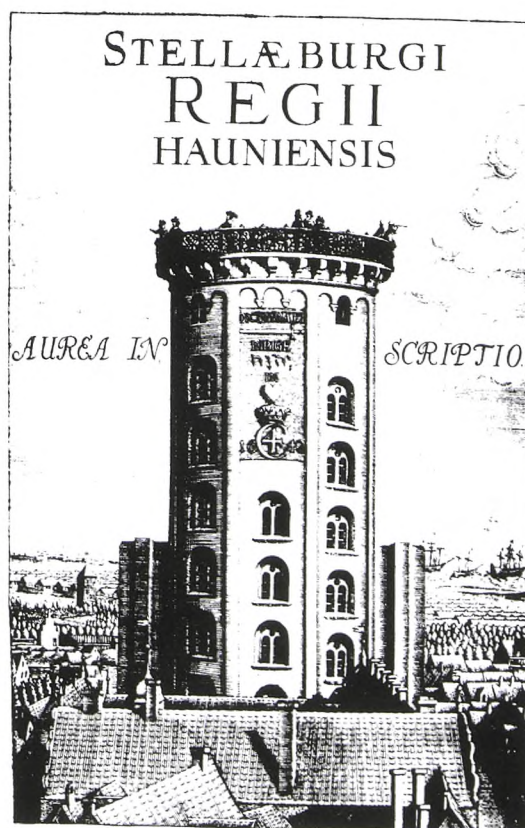
Saturn og Jupiter havde i august måned det år en stor konjunktion, dvs. de kom tæt på hinanden, men Tycho fandt, at ikke alene tidspunktet for konjunktionen, men også afstanden mellem planeterne ikke passede med de tabeller over planeterne stilling, der fandtes. Hverken de gamle tabeller, baseret på det klassiske græske system, som gik ud fra at jorden var placeret i midten af universet, eller de nye kopernikanske tabeller, hvor jorden var blevet reduceret til en planet omkring solen. Tycho erfarede dog, at de nye tabeller passede bedst.

Dengang tillagde man det stor betydning, når planeterne var tæt på hinanden og i hvilket stjernetegn det skete; astrologien betød meget. Derfor var det vigtigt at kunne forudse planeterne gang, men tabellerne passede, som Tycho opdagede, ikke særlig godt, og han fandt, at der skulle nye og meget mere nøjagtige observationer til, så man kunne lave nye tabeller og beregninger af planeterne fremtidige positioner.

Resten af Thykos liv blev en jagt på mere og mere nøjagtige målinger og en udvikling af bedre og bedre instrumenter. Den store målenøjagtighed opnåede han ved at indse, at alt måleapparat har indbyggede fejl, men ved at måle den samme størrelse med forskellige apparater kunne han opdage og derefter tage højde for fejlene ved det enkelte apparat. Han nåede ikke selv frem til en forbedret teori for planeterne bevægelser, men det lykkedes for ham at forbedre beregningerne for månens bevægelse, hvilket han blev den første, der gjorde siden oldtiden.

Hans berømmelse i samtiden kom da han i 1573 udgav sin lille bog om den nye stjerne der havde vist sig på himlen i 1572. I bogen prøver han først at finde afstanden til stjernen ved at måle dens daglige parallakse (den forskydning i retningen til stjernen der forårsages af Jordens daglige rotation), men da han ingen ændring kan måle slutter han at stjernen må være længere væk end Månen. Derpå måler han om stjernen ligesom

planeterne flytter sig i forhold til fiksstjernerne, og da han efter et halvt år intet har kunnet måle slutter han at stjernen må være længere væk end planeten Saturn eller ude i stjernernes sfære. Det medførte det problem at alt uden for atmosfæren ifølge tidens fysik burde bestå af et femte element som både var guddommeligt og uforanderligt, så fysikken måtte tage fejl. I dag ved vi at det han så aldeles ikke var en ny stjerne, men det modsatte, en tung stjerne der døde i et supernovaudbrud, for ham var den dog ny, da han intet kunne se på dens sted tidligere.



Figur 1. Efter Tychos død overgik magten på Hven atter til kongen og hans observatorium Stjerneborg forfaldt. Men da det havde været det mest avancerede i Europa blev det i 1642 modellen for Christian d. IV's "Københavns kongelige Stjerneborg", Rundetaarn.

Selvom Tycho samlede observationer det meste af sit liv, kom de fleste til i de 21 år, han arbejdede på øen Hven. Her fik han organiseret et observatorium, Stjerneborg, med mange assistenter til at hjælpe sig, et mekanisk værksted, hvor han kunne prøve sine nye

instrument-ideer af, og et bogtrykkeri med papirmølle, der gjorde det muligt for ham at publicere resultaterne af sit arbejde. Observationernes enorme omfang, deres nøjagtighed og den systematiske måde de var blevet foretaget på betød, at Tycho Brahes observationer helt frem til 1700-tallet var de bedste, der fandtes.

Tycho Brahe forlader Danmark og et nyt forskningsmiljø opstår i Prag

I løbet af 1590'erne fik Tycho flere og flere problemer med den nye konge Christian d. IV og med Rigsrådet. Den statsstøttede forskningen på Hven hidtil havde modtaget svandt ind, og livet i Danmark blev for besværligt for den midaldrende Tycho. Det hele endte med, at han i juni 1597 forlod Danmark og slog sig ned i nærheden af Hamborg, hvor han udgav sin berømte bog "Mecanica" med beskrivelser af sine instrumenter.

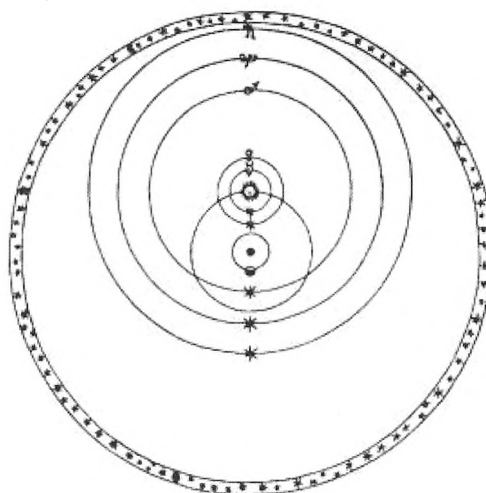
I 1599 blev han tilbudt husly i Bøhmen af kejser Rudolf II, og i juli dette år foretog han sin første observation i Prag. Tycho var efterhånden blevet en gammel mand, men fik alligevel sine instrumenter sendt ned fra Danmark og prøvede at oprette et nyt "Stjerneborg". Astronomen Kepler blev hans assistent, og et nyt forskningsmiljø opstod i Prag. Der var dog en del gnidninger og diskussion mellem de to store astronomer bl.a. omkring spørgsmålet om hvilket verdenssystem, der var det sande. Kepler var tilhænger af det nye kopernikanske system med solen i midten, mens Tycho holdt på, at jorden måtte være centrum, fordi det stemte bedst overens med hans målinger.

Verdenssystemet der både var et frem- og tilbageskridt

Det var tre år før Tycho Brahe blev født, at den polske astronom Kopernikus havde udgivet den revolutionerende bog, hvori han præsenterede sit nye verdenssystem, med solen i centrum af universet og planeterne og jorden i cirkler udenom. Kopernikus' system var en smule enklere end det gamle græske system, men gav de samme beregningsmæssige besværligheder som det, og næsten samme unøjagtighed. De største indvendinger mod hans system kom dog fra kirkelige kredse, for kunne man ikke i 1. Mosebog læse, at Gud først havde skabt Jorden og Himlen og først på tredjedagen solen? Derfor måtte jorden være centrum i universet!

Et var at komme med et nyt verdenssystem noget andet at bevise, at det var rigtigt. Tycho Brahe satte det nye system på prøve, for hvis jorden bevæger sig rundt om en sol i centrum af universet, så måtte vor sigtelinie til en stjerne ændre sig i årets løb, og vi ville derfor se stjernerne bevæge sig i små ellipser på himlen – jo længere væk de var, jo mindre ellipser. Tychos målenøjagtighed var tidens bedste, men på trods af det kunne han ikke måle nogen ændring i sigtelinien, så enten måtte jorden befinde sig i centrum af universet, eller også var stjernerne meget længere væk end man

regnede med [1]. Et så enormt og meningsløst tomrum mellem solsystemet og stjernerne, kunne man på Tychos tid ikke forestille sig skabt af en guddommelig skaber. Så Tycho valgte den anden mulighed og anbragte jorden i centrum igen, men fordelene ved det kopernikanske system syntes han var så store, at han lod månen og solen bevæge sig rundt om jorden og alle planeterne rundt om solen. På denne måde fik han fordelene ved det kopernikanske system og konsekvensen af sine målinger bygget sammen i sit verdenssystem. Hvor man tidligere havde bestemt verdens opbygning ud fra forestillinger om, hvordan den burde være, dvs. oftest ud fra religion og gammel sædvane, lod Tycho i stedet sine observationer bestemme, hvordan verden var bygget op. Og det var helt nyt og kendetegnende for ham og hans tid.



Figur 2. Tycho Brahes verdenssystem med jorden i centrum. Månen og solen bevæger sig rundt om jorden og alle planeterne rundt om solen.

Keplers beregninger og 3 love

Kejser Rudolf II ønskede, at der på grundlag af Tychos mange observationer skulle udarbejdes nye og forbedrede tabeller over planeternes fremtidige gang på himlen og overdrog denne opgave til Kepler kort før Tychos død i 1601 i Prag. Efter Tychos død købte kejseren alle hans observationer og gav dem til Kepler.

Kepler var som sagt tilhænger af det kopernikanske verdensbillede, som han ønskede skulle danne grundlag for sine tabeller. Han vidste, at Tychos observationer var meget nøjagtige; usikkerheden var nede på et bueminut (1/60 grad), og det betød, at de beregningsmetoder, han brugte, skulle give resultater, der stemte med det. I det kopernikanske verdenssystem var solen i midten af universet, og planeterne bevægede sig rundt om den i små cirkler, der igen bevægede sig i en cirkulær bane om centrum, ligesom i det gamle græske verdensbillede. Kepler regnede og regnede og fik det til at stemme meget godt med Tychos observationer – undtagen for planeten Mars. Den var ikke der, hvor

den i følge Keplers beregninger burde være. Kepler måtte til sidst erkende, at der måtte være noget galt med det verdenssystem, han benyttede i beregningerne. Han prøvede derfor at gå væk fra cirklerne hos Kopernikus. Cirklerne var ellers siden oldtiden blevet betragtet som det eneste rigtige, da de pga. deres enkle, logiske form måtte være skabt af Gud. Men da Kepler prøvede at erstatte cirklerne med ellipser og anbragte solen i det ene af ellipsens brændpunkter, kom også beregningerne af planeten Mars placering på himlen til at stemme med Tychos observationer. Foruden planeternes ellipsebaner fandt Kepler to andre geometriske regler [2], ud fra hvilken man kunne bestemme, hvor planeterne befandt sig. Disse tre love gav ham det værktøj, der skulle bruges til at beregne, de tabeller han havde fået til opgave at udarbejde.

Newtons gravitationsteori

Selvom Keplers geometriske regler for planetberegninger var udmærkede og fungerede godt i praksis, opstod i England en idé om, at der måske bag reglerne lå en fysisk lov. I 1687 lykkedes det englænderen Isac Newton at påvise en sådan. Newton påviste først, at kraft er lig masse gange acceleration og udviklede derefter sin gravitationsteori: tyngdeloven [3]. Ifølge Newton skabes tyngdekraften af massen. Jo større masse, jo større tiltrækningskraft. Tyngdekraften er universel, den gælder for såvel æbler som planeter, og med opdagelsen af tyngdekraften kunne Newton forklare såvel planeternes regelbundne bevægelser i solsystemet som hvorfor hverken mennesker eller æbler falder op og væk fra jorden, men i stedet tiltrækkes af den.

Rejser i rummet

Keplers love for planeternes bevægelser gælder kun tilnærmelsesvis, fordi planeternes indbyrdes tiltrækning får de konstanter, der indgår, til at ændre sig med tiden. Med Newtons nye lov blev det muligt at tage hensyn til det og dermed lave beregninger over solsystemet, der rakte mange tusind år ud i fremtiden. I praksis har det dog kun kunnet lade sig gøre med hjælp fra moderne regnemaskiner, for selvom tyngdeloven ser simpel ud, er den meget svær at have med at gøre, når der skal regnes på flere end to legemer, der tiltrækker hinanden. Når man i dag skal beregne en bane for en rumsonde, der for eksempel skal besøge en anden planet, så benytter man Newtons tyngdelov. Rumsonden er selvfølgelig påvirket af alle legemer i solsystemet, og det er nødvendigt at tage hensyn til dem alle, hvis man vil være sikker på at ramme sit mål.

Der går altså en linie fra den 16-årige Tycho, der fandt at hans tids astronomiske teorier ikke duede, og at der skulle nøjagtige observationer til for at forbedre videnskaben. En linie der går over Kepler, der ikke kunne få Tychos observationer af Mars til at passe med sine beregninger, og frem til Newton, der sammenfattede

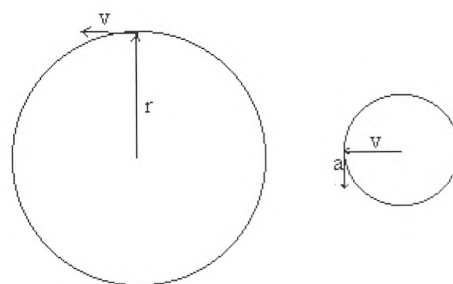
Keplers regler til den kraftlov, som bruges i dag, når man sender raketter ud i rummet.

Noter

[1] På baggrund af Tychos observationer beregnede den danske astronom Ole Rømer, omkring år 1700, at hvis den manglende ændring i sigtelinien skyldtes stjernernes afstand, så måtte deres afstand være mere end 2000 gange afstanden til Solen. Og da den yderste kendte planet, Saturn, kun var omkring 8 gange længere væk end solen, så måtte der være et meget stort tomrum mellem solsystemet og stjernerne.

[2] Keplers 3 love:

1. Planeterne bevæger sig i ellipsebaner med solen i det ene brændpunkt.
2. Linien fra solen til planeten overstryger lige store arealer i lige store tidsrum.
3. Planetens omløbstid i anden potens er lig en konstant gange ellipsebanens halve storakse i tredje: $T^2 = konst. \times r^3$



Figur 3.

[3] Hvis vi et øjeblik siger (det er næsten rigtigt), at planeterne bevæger sig i cirkler (radius r) med konstant fart v og med omløbstiden T så gælder $v = 2\pi r/T$. Tilsvarende vil ændringen i hastigheden $a = 2\pi v/T$ fordi v svinger en gang rundt når r svinger en gang rundt. Tilsammen får vi at $a = 4\pi^2 * r/T^2$ og sammenholdt med Keplers 3. lov $T^2 = konst. * r^3$ fås at hastighedsændringen (accelerationen) $a = konst. / r^2$ og rettet mod centrum af cirklen til venstre.

I 1687 lykkedes det englænderen Newton at vise, at det der står ovenfor også gælder for en ellipse med solen i det ene brændpunkt og at konstanten er $G \times M$, hvor G er en universel konstant og M er solens masse. Newtons kraftlov: Kraft = masse $\times$ acceleration fører så til hans tyngdelov: $K = GMm/r^2$, hvor m er planetens masse.



Erling Poulsen er observator ved Rundetaarn.

Coriolis og corioliskraften

Niels Kristian Højerslev, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik, Københavns Universitet.

Caspard Gustave Coriolis blev født i Paris i Frankrig under Den Store Franske Revolution, 21. maj 1792 (Léon Warnant, 1968: “De la prononciation française”, samt Larousse, 1980: “Dictionnaire de la prononciation” oplyser i begge tilfælde at efternavnet Coriolis skal udtales som “korjorlis” med tryk på sidste stavelse og lydbillede som i pigenavnet Lis, mens de to o-er lyder som o-et i navneordet korps). Coriolis familiebaggrund var aristokratisk, men han overlevede da de blodige revolutionsår som efterfulgte hans fødsel. Den unge Coriolis havde bemærkelsesværdige gode evner og blev som 18-årig immatrikuleret på den nyoprettede Polytekniske Lærestanstalt, École polytechnique i Paris, der tjente som forskole for de tekniske specialskoler såsom École des mines, École des ponts et chaussées, osv. Coriolis valgte at læse videre på den sidstnævnte skole som 20-årig. Få år senere blev den tidligere hovedfagsstuderende i 1816 lærer på den selvsamme skole og havde efter sigende et stort talent for undervisning. Men også nøden tvang Coriolis til undervisning, fordi en del tyder på, at den mindre pengegivende forskning havde godt tag i den kun 24-årige unge mand. For snart 200 år siden indgik familierne sociale forpligtelser over for dens egne medlemmer i modsætning til i dag, så hér fangede bordet for Coriolis. Dengang som nu lå de fleste penge i undervisning og ikke i forskning, så noget har ændret sig – andet ikke.

Coriolis ville vi nok i dag kalde for maskiningeniør af en næsten uddød race. Hans interesser lå omkring maskiner og deres roterende dele, men specialinteresserne trak henimod vandmøller, kraftpåvirkninger fra møllerne og deres deraf udførte arbejde. Det er dokumenteret i hans ganske specialiserede litterære produktion med artiklerne “Calcul de l’effet des machines”, 1829 og “Sur le principe des forces vives dans les mouvements relatifs des machines”, 1832.

Året 1835 synes på mange måder at have været et godt år for Coriolis, selvom han på det tidspunkt led af et skrantende helbred, der livet igennem afholdt ham fra at indgå ægteskab om det ikke var lysten eller manglen på samme. Således udkom i 1835 hovedarbejdet “Théorie mathématique du jeu de billard”, der over sine mange sider beskriver stødteori i “det virkelige liv”. Disse teoretiske overvejelser og beregninger sker i tæt samarbejde med billardspilleren M. Mingaud, så Coriolis får valideret sin stødmodel. I samme år udkommer så den lille artikel “Sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps”, 1835, hvor begrebet “des forces centrifuges composées” optræder for første gang i Coriolis forfatterskab. Det er disse sammensatte centrifugalkræfter, som i dag går under betegnelsen cori-

oliskræfterne eller de “afbøjende kræfter”, og der kan henvises til den sidste af de to sider 143 som optræder i monografien: Coriolis, Caspard-Gustave. 1792–1843. *Théorie mathématique des effets du jeu de billard etc.* udgivet på forlaget J. Gabay, 1990, ISBN 2-87647-081-0: 224 pp. og 66 figurer. Der skal her lige erindres om at Coriolis som maskiningeniør havde den roterende jord som sin referenceramme, fordi de roterende maskindele han havde sat sig for at undersøge, roterede langt hurtigere end vores roterende jord.



Figur 1. Caspard Gustave Coriolis.

Mange har hørt om historien om astronomen Jean Bernard Léon Foucault (1819–1868) og foucaultpendulet. Foucault ophængte en 28 kg tung messingkugle i en 64 meter lang metaltråd under kuplen i Panthéonkirken i Paris i 1851. Pendulets svingningsplan efter forsøgets start viste sig ikke at ligge fast, som tiden gik. I løbet af en halv såkaldt penduldag på ca. 14 timer havde pendulets svingningsplan (defineret som den svagt krumme flade bestemt af to på hinanden efterfølgende svingningsydepunkter) bevæget sig hele kompasset rundt og tilbage til svingningsplanen ved starttidspunktet. Foucaulteksperimentet viste, at vores jord roterer i forhold til fiksstjernerne, og at jorden følgelig ikke er et såkaldt initialsystem i newtonsk

forstand. Astronomen Foucault arbejdede naturligvis inden for helt andre tidsskalaer end maskiningeniøren Coriolis, hvilket kan forklare det interessante forhold, at Foucault i 1851 tilsyneladende ikke kendte til Coriolis' arbejde fra 1835. Sådanne forhold er nu heller ikke ganske ukendte i Danmark, hvor astronomer og fysikere sagtens kan være uvidende om, hvad polyteknikere går og laver.

I Coriolis sidste leveår gik tiden med at arbejde på l'École polytechnique, i l'Académie de Science og endelig med at opdatere den gamle bog fra 1829, som nu optrådte med titlen "Traité de la mécanique des corps solides!". Næppe træt af dage men plaget af sygdom trods en ung alder døde Coriolis 51 år gammel den 19. september 1843. Han blev begravet på Montparnasse Kirkegård og må i høj grad siges at tilhøre det naturvidenskabelige parnas.

Der har i geofysiske kredse været en tendens til at tage patent på Coriolis, men der skulle gå omkring 40 år fra hans død til introduktionen af corioliskraften blandt meteorologer og oceanografer. Et godt eksempel herpå er den danske stadsingeniør i København og senere professor Ludvig A. Colding (1815–1888), der blev tilbudt jobbet om første direktør for Danmarks Meteorologiske Institut uden dog at acceptere tilbuddet. Colding skriver i forbindelse med den værste storm over Danmark 12.–14. november 1872 således ikke et eneste ord om corioliskraften i rækken af artikler til Videnskabernes Selskab fra publikationsperioden 1876 til 1881. Og her skal det for god ordens skyld fremhæves, at Coldings arbejder regnes for fremragende, skelsættende og af international værdi, selv om han ikke har inkluderet eller kendt til jordens afbøjende kraft.

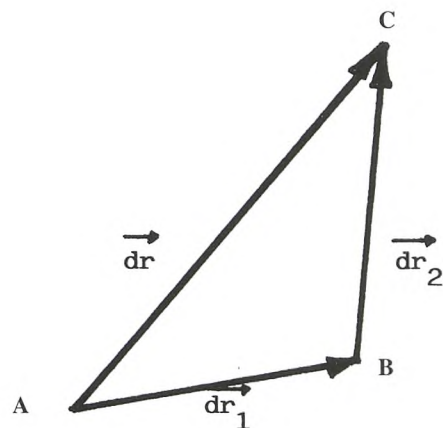
Corioliskraften

Der er gjort mange "pædagogiske" men helhjertede forsøg på at beskrive og udlede corioliskraften. Efter gennemlæsning af en lang række lærebøger, artikler og kompendier må konklusionen blive, at det ikke er lykkedes for nogen at levere en helt lydefri vare. Til dato har undertegnede derfor argumenteret for, at corioliskraften udleder man med brug af vektoranalytiske metoder. Coriolis gjorde selv dette men uden vektorformalismens velsignede velsignelser. Nedenfor vover forfatteren dog alligevel et øje, og siden er det op til læseren at vurdere, om varen er leveret eller om der igen er tale om en bytter.

Grundlæggende betragtninger

Hvis vi vil gå fra A til C kan vi tage den direkte vej $AC = d\vec{r}$ eller omvejen over B, dvs. $AB = d\vec{r}_1$ og siden $BC = d\vec{r}_2$. Det siger sig selv, at den direkte vej er den korteste, men vi nedskriver alligevel vektorligningen med lighedstegn:

$$d\vec{r} = d\vec{r}_1 + d\vec{r}_2 \quad (1)$$



Figur 2.

Ved at differentiere ligning (1) med hensyn til tiden, t eller ved division med dt fås:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}_1}{dt} + \frac{d\vec{r}_2}{dt} \equiv \vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 \quad (2)$$

hvor definitionen for hastighed er benyttet. Bemærk at da dt er den samme på begge sider af ligning (2) må farten være mindre langs AC end langs omvejen AB og BC.

Endnu en differentiation af ligning (2) med hensyn til tiden giver

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}_1}{dt} + \frac{d\vec{v}_2}{dt} \equiv \vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 \quad (3)$$

hvor definitionen for acceleration er benyttet. I den aktuelle sammenhæng omskriver vi de 3 ovenstående ligninger til

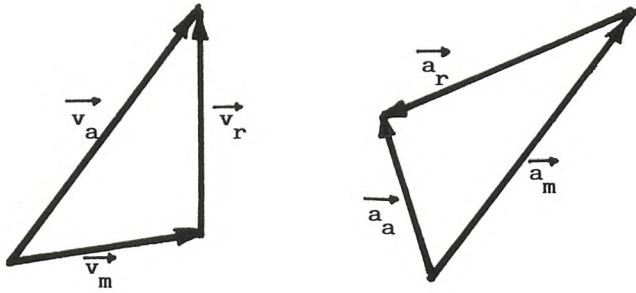
$$d\vec{r}_a = d\vec{r}_m + d\vec{r}_r \quad (4)$$

$$\vec{v}_a = \vec{v}_m + \vec{v}_r \quad (5)$$

$$\vec{a}_a = \vec{a}_m + \vec{a}_r \quad (6)$$

hvor indices a, m, r henholdsvis refererer til "absolut", "medføring" og "relativ". Eksempelvis er $\vec{v}_a$ et legemes absolut hastighed taget i forhold til et initialsystem mens medføringshastigheden, $\vec{v}_m$ beskriver forflytningen af et legeme i forhold til initialsystemet men netop ikke i forhold til et underlag i bevægelse. Endelig beskriver den relative hastighed, $\vec{v}_r$ forflytningen i forhold til fikspunkter på det bevægede underlag. Går man f.eks. op ad en trappe og en rullende trappe med samme skridthastighed, så går man lige hurtigt op ad trapperne med hastigheden, $\vec{v}_r$ men kommer hurtigst op på næste etage på den rullende trappe på grund af dennes $\vec{v}_m$. En grafisk løsning

på ligningerne (4), (5) og (6) er illustreret nedenfor:

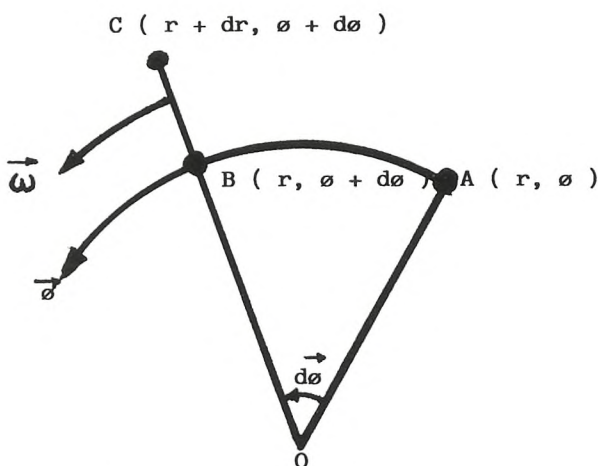


Figur 3.

Den simple coriolismodel

Som udgangspunkt betragtes en plan roterende skive, der roterer med konstant vinkelhastighed, $\vec{\omega}$ mod uret. På denne skive bevæger et legeme med massen, m sig omkring med den konstante hastighed, $\vec{v}_r$. Legemet bevæger sig på skinner, som er fastgjort til underlaget. Vi betragter kun kræfter, som er relevante i sammenhængen, hvilket indebærer, at skiven kan have en vilkårlig orientering i rummet uden at legemet påvirkes af det. Vender man f.eks. skiven "på hovedet" falder legemet ikke "ned".

Legemet bevæger sig nu et meget lille vejstykke fra A til C i tiden mellem t og $t + dt$, dvs. i tidsrummet dt . Det er formelt muligt som set indledningsvis, at opdele denne bevægelse i en cirkulær og en radial bevægelse, som det fremgår af nedenstående figur. Det indebærer formelt, at legemet skal bevæge sig på skinner fra A til B i en lille cirkelbevægelse og fra B til C i en anden lille radialbevægelse i tidsrummet dt for begge bevægelser vedkommende – se figur 4:

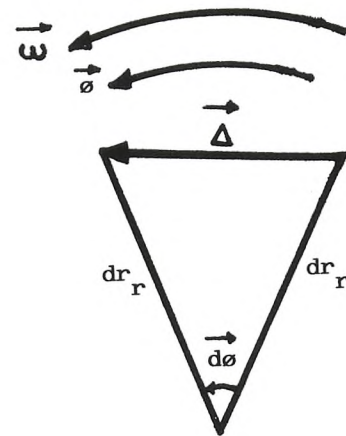


Figur 4.

Radiær kørsel på skinner

I løbet af tiden, dt bevæger massen, m sig radiært udad fra $r = r_r$ til $r = r_r + dr_r$, hvor medførings-hastigheden er større. Den radiære forflytning fra r_r til $r_r + dr_r$ (som er den eneste mulige forflytning på skiven, fordi m kører på skinner) andrager $dr_r = |\vec{v}_r| dt$, mens hastighedsændringen, $d\vec{v}_r = (r_r + dr_r)\vec{\omega} - r_r\vec{\omega} = dr_r\vec{\omega} = |\vec{v}_r| \cdot \vec{\omega} \cdot dt$. Bemærk her den af undertegnede indførte vektorformalisme som direkte viser, at $d\vec{v}_r$ går i retningen af $\vec{\omega}$ som vist i figur 4, dvs. vinkelret til venstre på OA for små dt . Det ses herefter direkte at $\vec{a}_r \equiv \frac{d\vec{v}_r}{dt} = |\vec{v}_r| \cdot \vec{\omega}$. Skinnerne giver nu en acceleration $\vec{a}_r$ rettet mod venstre i figur 4 og kraftpåvirkningen på skinnerne bliver $m \cdot \vec{a}_r$. Derved bliver m udsat for en ligeså stor men modsat rettet kraft til højre! Dette indses ved at benytte sig af Newtons tredje Lov om aktion og reaktion.

Under køreturen på skinnerne i tiden dt , drejer skinnerne sig i forhold til et initialsystem, som det er vist i figur 5.



Figur 5.

Skinneforflytningen i løbet af dt kaldes i vores forbindelse for $\vec{\Delta} = dr_r d\phi$ og den er rettet mod venstre i figuren. Med den her indførte vektorformalisme er $d\phi = \vec{\omega} dt$. Dermed fås samlet med brugen af de tidligere fundne resultater at $\vec{\Delta} = |\vec{v}_r| dt \cdot \vec{\omega} dt$, hvorved $\frac{\vec{\Delta}}{dt^2} \equiv \vec{a}_m = |\vec{v}_r| \cdot \vec{\omega}$; dvs. $\vec{a}_m = \vec{a}_r$ med præcis samme argumentation som før. Samlet fås derfor med brug af ligning (6) at coriolisaccelerationen,

$$\vec{c} = 2|\vec{v}_r|\vec{\omega} \quad (7)$$

for den radiære bevægelse på skinner. Bemærk at accelerationen af m (eller rettere corioliskraften på m) går vinkelret til højre for m 's radiære bevægelsesretning på den roterende skive bedømt fra fikspunkter på den roterende skrive men vinkelret til venstre set fra initialsystemet.

Cirkulær kørsel på skinner

Denne situation beskriver en cirkulær bevægelse af m på skinner fra A til B (eller fra B til A for den mod-

sat rettede vinkelhastighed, $-\vec{\omega}$) i den faste afstand, r fra rotationsaksen. Bedømt ud fra initialsystemet holdes m i den cirkulære bane af skinnerne, som leverer den nødvendige kraft lig med centripetalaccelerationen multipliceret med m . Massen, m påvirker hermed skinnerne på skiven med en ligeså stor og modsat rettet kraft. Figur 4 illustrerer situationen for medløb. Den samlede hastighed $\vec{v}_a = \vec{v}_m + \vec{v}_r$, hvor $\vec{v}_m$ skal regnes positiv, når $\vec{v}_m$ og $\vec{v}_r$ har samme retning i den cirkulære bevægelse (jævnfør med eksemplet fra før med trappen og den rullende trappe). I tilfælde af medløb skal den samlede centripetalacceleration, $\vec{a}_a$ af m naturligvis være rettet ind mod rotationsaksens centrum bedømt fra initialsystemet og have værdien $|\vec{a}_a| \equiv a_a = \frac{v_a^2}{r} = \frac{(v_m + v_r)^2}{r} = \frac{v_m^2}{r} + \frac{v_r^2}{r} + 2\omega v_r$ da $v_m = r\omega$ og $\vec{v}_m$ samt $\vec{v}_r$ går i samme retning. Massen, m holdes hele tiden på plads af skinnerne i den cirkulære bane, hvorved skinnerne påvirker m med kraften $m \cdot \frac{v_a^2}{r}$ rettet ind mod rotationsaksen. Omvendt må m påvirke skinnerne med en ligeså stor men modsat rettet kraft $= m \frac{v_a^2}{r}$. Ledet $\frac{v_m^2}{r} = r\omega^2$ bliver herefter identificerbart med centrifugalaccelerationen på m som følge af den roterende skive, $\frac{v_r^2}{r}$ er den for m nødvendige centripetalacceleration og endelig er ledet $2\omega v_r$ den føromtalte coriolisacceleration, som også er rettet vinkelret til højre for bevægelsesretningen. For medløb fås $\frac{v_m^2}{r} + \frac{v_r^2}{r} - 2\omega v_r = r\omega^2 + \frac{v_r^2}{r} - 2\omega v_r$. Her skal det bemærkes at centrifugalaccelerationen bevarer sit fortegn i modsætning til coriolisaccelerationen. Det betyder at centrifugalaccelerationen altid er rettet væk fra centrum mens coriolisaccelerationen altid er rettet vinkelret til højre for m 's bevægelsesretning, som kan være ind mod eller væk fra centrum for henholdsvis medløb og modløb. Det er hermed vist for den cirkulære bevægelse, at der optræder et accelerationsled, coriolisaccelerationen hvor

$$|\vec{c}| = 2 |\vec{v}_r| \cdot |\vec{\omega}| \quad (8)$$

Kombination af ligning (7) og (8) fører til konklusionen, at for alle bevægelser på skiven vil der være en corioliskraft, $\vec{k}$ på m som er rettet 90 grader til højre for m 's bevægelsesretning der i størrelse andrager:

$$|\vec{k}| = m \cdot |\vec{c}| = 2m |\vec{v}_r| \cdot |\vec{\omega}|. \quad (9)$$

Den mindre simple coriolismodel

Den mindre simple model lader antagelserne om konstant vinkelhastighed $\vec{\omega}$, og konstant hastighed, $\vec{v}_r$ falde. Dermed bliver både $\vec{\omega}$ og $\vec{v}_r$ analytiske vektorfunktioner af tiden, t . I stil med tidligere beregner vi forflytningen fra $\vec{r}_r$ til $\vec{r}_r + d\vec{r}_r$ i tidsrummet mellem t og $t + dt$, hvor $d\vec{r} \equiv \langle \vec{v}_r \rangle dt$, idet $\langle \vec{v}_r \rangle$ er den relative middelhastighed. Der gælder for et bestemt tidspunkt, $t + dt_1$ at $\vec{v}_r(t + dt_1) = \langle \vec{v}_r \rangle$, hvor $0 \leq dt_1 \leq dt$. Analogt hermed gælder at $\vec{\omega}(t + dt_2) = \langle \vec{\omega} \rangle$ hvor $0 \leq dt_2 \leq dt$

og hvor $dt_1 \neq dt_2$ i det typiske tilfælde. Taylorrækkeudvikling af henholdsvis $\vec{v}(t + dt_1)$ og $\vec{\omega}(t + dt_2)$ giver:

$$\langle \vec{v}_r \rangle = \vec{v}_r(t + dt_1) =$$

$$\vec{v}_r(t) + \frac{d\vec{v}_r(t)}{dt} \cdot dt_1 + \frac{1}{2} \frac{d^2\vec{v}_r(t)}{dt^2} \cdot dt_1^2 + \dots \quad (10)$$

$$\langle \vec{\omega} \rangle = \vec{\omega}(t + dt_2) =$$

$$\vec{\omega} + \frac{d\vec{\omega}(t)}{dt} \cdot dt_2 + \frac{1}{2} \frac{d^2\vec{\omega}(t)}{dt^2} \cdot dt_2^2 + \dots \quad (11)$$

Først betragtes den radiære bevægelse hvor $d\vec{v}_r = dr_r \cdot \vec{\omega} \equiv |\langle \vec{v}_r \rangle| \cdot dt \cdot \vec{\omega}$ hvorved:

$$dr_r \cdot \vec{\omega} = |\vec{v}_r(t)| \vec{\omega}(t) dt + ([\dots] dt_1 + [\dots] dt_2) dt \quad (12)$$

Ligning (12) er fremkommet ved at multiplicere ligning (10) og (11) med hinanden for siden at ordne de mange produktled i de to kantede parenteser så leddet dt_1 altid kan sættes uden for den første kantede parentes og dt_2 uden for den anden. Det er herefter let at vise at $\vec{a}_r = \frac{d\vec{v}_r}{dt} = |\vec{v}_r(t)| \vec{\omega}(t)$ idet sidste led i den store parentes i ligning (12) forsvinder når dt gøres tilstrækkelig lille (bemærk her at $dt \geq dt_1$ og $dt \geq dt_2$).

Herefter skal forflytningen $\vec{\Delta} = |\langle \vec{v}_r \rangle| dt \langle \vec{\omega} \rangle$ beregnes idet $d\vec{\phi} = \langle \vec{\omega} \rangle dt$ - se tidligere i teksten samt figur 5. Ved igen at benytte ligningerne (10) og (11) samt regnemethoden angivet i ligning (12) fås

$$\vec{a}_m = \frac{\vec{\Delta}}{dt^2} = |\vec{v}_r(t)| \vec{\omega}(t) \quad (13)$$

for små tidsintervaller, dt . Derved fås samlet for coriolisaccelerationen $\vec{c}(t)$ for radialbevægelsen:

$$\vec{c}(t) = 2 |\vec{v}_r(t)| \vec{\omega}(t) \quad (14)$$

Situationen er enkel for den cirkulære bevægelse, fordi ligningen $a_a = \frac{v_a^2}{r} = r\omega^2 + v_r^2 \pm 2\omega v_r$ (med- og modløb) er gyldig til alle tider for vilkårlige $\vec{v}_r(t)$ og $\vec{\omega}(t)$. Helt generelt er det hermed vist at

$$|\vec{c}| = 2 |\vec{v}_r(t)| |\vec{\omega}(t)| \quad (15)$$

for vilkårlige bevægelser på skiven der tillades at rotere med vilkårlig vinkelhastighed.

Ovenstående udledning kan gennemføres for enhver roterende skive der beskrives udfra et initialsystem. I geofysik har vi valgt horisontalplanen og vertikalplanen af praktiske grunde, så ligning (15) skal benyttes på disse to planer. Samlet fås da at ligning (15) kan siges at gælde helt generelt, dvs. for alle rumlige bevægelser til alle tidspunkter. Corioliskraften søger således hele

tiden at give et legeme en acceleration gående vinkelret på legemets øjeblikkelige banebevægelse. Corioliskraften "driver ikke værket" så man kan derfor tale om kraften som en passiv eller regulerende kraft. Forudsætningen for at have en corioliskraft og en deraf foranlediget coriolisacceleration er bevægelser i planer, der accelererer i forhold til et fastliggende referencesystem, som vi også kalder for et initialsystem. I et initialsystem er det kun naturkræfterne, som er virksomme, så her optræder ingen corioliskraft. Corioliskraften virker altid vinkelret på legemer der bevæger sig i systemer, som accelererer i forhold til initialsystemet. Vores roterende jord er et eksempel på sådant et system, der accelererer i forhold til fiksstjernehimlen. På nordlig halvkugle der roterer mod uret, søger corioliskraften altid at trække et legeme i bevægelse vinkelret til højre. Det gælder uanset om bevægelsen er radiær eller cirkulær eller en kombination af begge dele. På sydlig halvkugle, der roterer med uret, er kraften rettet vinkelret til venstre. Da corioliskraften ændrer sig jævnt og ikke springvis med breddegraden må den være lig med nul på ækvator, der som bekendt danner overgangen mellem nordlig og sydlig halvkugle.

Afsluttende bemærkninger

Corioliskraften her på vores nordlige breddegrader er en "stærk geofysisk" kraft, hvor vertikalkomponenten har omtrent den samme størrelse som horisontalkom-

posanten. Vinkelhastigheden, $\vec{\omega}$ regnes for konstant og den beskriver jordens omløbstid i forhold til et initialsystem, dvs. en omløbstid på et stjernedøgn, som er på knapt et døgn. Værdien på $\vec{\omega}$ sættes til $7.292115 \cdot 10^{-5}$ rad/s. Normalt regnes der i geofysik kun med horisontale corioliskræfter som i værdi andrager sinus til breddegraden multipliceret med massen, m og faktoren $2|\vec{v}_r|$. Typiske værdier for $|\vec{v}_r|$ i lufthavet ligger på op til 40 m/s men overstiger sjældent 4 m/s i havet.

Det kan til sidst være nyttigt med følgende skalering der typisk er gældende for oceanografiske forhold i Danmark: Forholdstallene for tyngdekraften : corioliskraften : tidevandskræfterne alle i vertikal retning ligger på omkring 100,000:1:0,01.



Niels K. Højerslev er dr.scient. og lektor på Geofysisk Afdeling, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik (nkh@gfy.ku.dk).

Breddeopgave nr. 7 og 8

af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter.

Breddeopgave nr. 7 stammer fra sommereksamen 2000 og lyder:

I reaktoren DR3 på RISØ skabes der urenhedsatomer i rent silicium gennem kernereaktioner ved neutronbestråling. Opnås der herved en p-type halvleder eller en n-type halvleder? Begrund svaret.

Breddeopgave nr. 8 stammer fra vintereksamen 1999 og lyder:

Ledningsevnerne af henholdsvis rent silicium og rent germanium er størrelsesordensmæssigt henholdsvis 10^{-11} og 10^{-7} gange ledningsevnen af typiske metaller. Hvad er forholdet imellem båndgabene i silicium og germanium? Begrund svaret.

Løsninger og kommentar findes side 24.

PFEIFFER VACUUM

Totalleverandør

Af vacuumkomponenter

- vacuumsystemer
- turbopumper
- lamelpumper
- rootspumper
- vacuum måleudstyr
- vacuum ventiler
- massespektrometre
- on-line analyse
- læksovningsudstyr
- vacuum olier og smøremidler
- alt tænkeligt vacuumudstyr

Vi ses til DFS årsmøde

Tel. 4352 3800 Fax 4352 3850
efa@pfeiffer-vac m.dk

Fair play

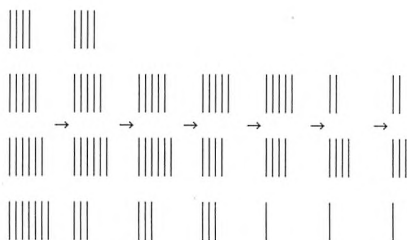
Mogens Esrom Larsen, Matematisk Institut, Københavns Universitet.

Vi spiller nogle simple spil, hvor spillerne skiftes til at trække og har de samme træk til rådighed. Det sidste kalder vi "fair." Det er i modsætning til f.eks. skak, hvor spillerne kun må trække med brikker af en bestemt farve. Den første, der ikke kan trække, har tabt. Det gælder altså om at trække sidst!

Nim

Man fordeler et antal tændstikker i et antal bunker. Spillerne skiftes til at fjerne nogle af tændstikkerne, mindst én tændstik, fra en af bunkerne. Man må kun tage fra én bunke, men man må gerne fjerne hele bunken.

Her er et eksempel med bunker på 4, 5, 6 og 7 tændstikker.



Slutstillingen 1,2,3 er åbenbart tabt.

Hvis der kun er én bunke, som ikke er tom, så har den der er i trækket, mulighed for at vinde ved at fjerne hele bunken.

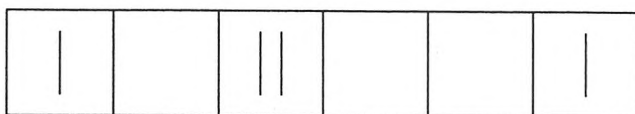
Hvis der er to bunker, kommer det an på, om de er ens eller forskellige. Hvis de er uens, kan man vinde ved at tage fra den største, så de bliver lige store. Hvis de er ens, kan man kun gøre dem forskellige. Modstanderen kan så gøre dem ens hver gang og vinde med den strategi.

Ligegyldigt hvad man fjerner fra 1,2,3, så kan modstanderen lave to lige store ud af resterne. Hvordan vinder man i almindelighed?

Nimbel

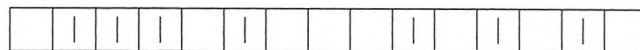
Tændstikkerne placeres på en stribe felter, det er lige meget hvor mange i hvert felt. Man skiftes til at rykke én tændstik én plads mod venstre. Der er ingen begrænsninger, der må være flere på samme felt og det er tilladt at rykke en tændstik ud over enden af striben.

Den, der tager den sidste tændstik, har vundet. Eller, den første, der ikke kan trække, har tabt.



Modificeret nimbel

Tændstikkerne placeres på en stribe felter, der må ikke være to i samme felt. Man skiftes til at rykke én tændstik én plads mod venstre, men man må ikke springe over en tændstik. Det er tilladt at rykke en tændstik ud over enden af striben.



Den, der tager den sidste tændstik, har vundet. Eller, den første, der ikke kan trække, har tabt.

Poker-nim

Man fordeler et antal tændstikker i et antal bunker. Desuden har hver spiller et antal til disposition. Spillerne skiftes til at fjerne mindst én tændstik fra én af bunkerne, gerne hele bunken, eller de kan lægge mindst én af deres egne til en bunke.

Den, der tager den sidste tændstik, har vundet. Eller, den første, der ikke kan trække, har tabt.

Grundy's spil

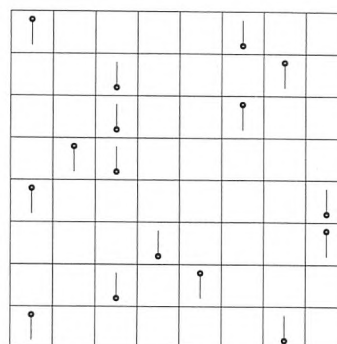
Der er en del bunker af tændstikker og man må dele en bunke i to af forskellig størrelse. Man starter med én bunke.

Den første, der ikke kan trække, har tabt.

Northcott's spil

Foregår på et skakbræt. I hver række er der to tændstikker, én med svovlet op og én med svovlet ned. De to spillere kan rykke hver sin slags inden for rækken, men må ikke springe over modstanderens.

Den første spiller, der ikke kan trække, har tabt.



Lasker's nim

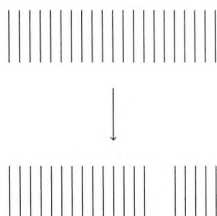
Man fordeler et antal tændstikker i et antal bunker. Spillerne skiftes til at fjerne mindst én tændstik fra én af bunkerne, gerne hele bunken, eller de kan vælge at dele en bunke i to mindre bunker.

Den, der tager den sidste tændstik, har vundet. Eller, den første, der ikke kan trække, har tabt.

Kegler

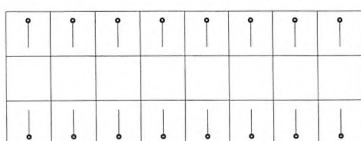
Tændstikkerne stilles på en række. Man kaster nu sin kugle og rammer mindst én kegle, der vælter, og højst to kegler, man kun hvis de fra starten var naboer.

Den, der vælter den sidste kegle, har vundet.

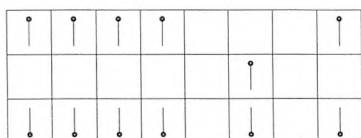


Dawson's skak

Et skakbræt har $3 \times n$ felter og de to spillere har hver n bønder markeret med tændstikker. Nu spilles efter sædvanlige regler, men man skal slå en brik hvis man kan.



Stillingen efter et træk og de tvungne slag:



STRATEGI

Vi skal nu forklare, hvordan man kan regne ud, om man kan vinde i nim og de andre spil, og hvordan man skal gøre det. Vi skal også se, at spillene ikke er så forskellige, som de tager sig ud.

Nim

Tricket er først at skrive antallene af tændstikker i 2-talsystemet under hinanden:

$$\begin{array}{rcl} 4 & = & 1 \ 0 \ 0 \\ 5 & = & 1 \ 0 \ 1 \\ 6 & = & 1 \ 1 \ 0 \\ 7 & = & 1 \ 1 \ 1 \end{array}$$

Så tæller man 1-tallerne i hver søjle. Er der lutter lige antal, så er stillingen tabt for den, der er i træk. Er der et eller flere ulige antal, så kan man vinde ved at fjerne så mange, at antallene alle bliver lige.

I eksemplet fjernede vi 4 fra de 7, så tallene blev:

$$\begin{array}{rcl} 4 & = & 1 \ 0 \ 0 \\ 5 & = & 1 \ 0 \ 1 \\ 6 & = & 1 \ 1 \ 0 \\ 3 & = & 0 \ 1 \ 1 \end{array}$$

Nu er der 3 1-taller i første søjle, så der skal fjerne 4 tændstikker et sted fra. I eksemplet tog vi alle 4 i første bunke.

Det interessante er, at vi kunne lige så godt have tilføjet en femte bunke på 4 tændstikker. Så var spillet også tabt for den næste spiller. Vi kan tilskrive spillet

den værdi, som er antallet af tændstikker i en bunke, vi kan tilføje, så spillet bliver tabt.

Denne værdi finder vi nemt ved at lægge tallene – skrevet i totalsystemet – sammen med den ekstra regel, at

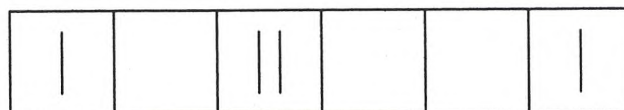
$$1 + 1 = 0$$

Det gælder så, at værdien 0, så har vi tabt, og er værdien en anden, så giver den os vinket om, hvad vi skal tilføje eller fjerne for at vinde.

Nimbel

Dette spil er Nim i forklædning. Hver af tændstikkerne kan erstattes af en bunke med så mange tændstikker, som der er mulige skridt fra feltet.

Det viste eksempel,



kunne lige så godt have været Nim med de 4 bunker:



Det giver altså

$$\begin{array}{rcl} 1 & = & 0 \ 0 \ 1 \\ 3 & = & 0 \ 1 \ 1 \\ 3 & = & 0 \ 1 \ 1 \\ 6 & = & 1 \ 1 \ 0 \end{array}$$

Der kan vindes ved at fjerne 5 tændstikker fra den sidste bunke, altså ved at rykke den yderste tændstik til højre 5 pladser mod venstre.

Sum af spil

Vi kan opfatte Nim som en sum af – meget simple – spil, nemlig de forskellige bunker. Hvert af disse spil er lette at vinde, men det er ikke så ligetil at bestemme, om summen er til at vinde. Allerede summen af to bunker giver problemer: Er bunkerne lige store, kan man ikke vinde, men er de af forskellig størrelse, så kan man vinde!

Det er ikke nok at vide, om de enkelte spil er vundne eller tabte. Man må regne mere raffineret som det også fremgår af regnereglerne. Har man to bunker med f. eks. 1 og 2 tændstikker, så er det et vundet spil. Tilføjer man en tredje bunke med netop 3 tændstikker, så bliver summen af spillene pludselig tabt!

Det er netop sådan med Nim, at der altid er én bunke, som man kan tilføje, sådan at summen bliver et tabt spil. Man kan derfor sige, at ethvert Nim-spil er ækvivalent med et Nim-spil med netop én bunke, der eventuelt kan være på 0 tændstikker, hvis spillet allerede er tabt.

Værdien af denne ene bunke findes ved regnereglen: At skrive antallene i 2-talsystemet, lægge sammen med reglen $1 + 1 = 0$, og læse resultatet i 2-talsystemet.

Det hele drejer sig om regning, men med en ny additionstabel:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	1	1	0	3	2	5	4	7	6	9	8	11	10	13	12	15
2	2	2	3	0	1	6	7	4	5	10	11	8	9	14	15	12
3	3	3	2	1	0	7	6	5	4	11	10	9	8	15	14	13
4	4	4	5	6	7	0	1	2	3	12	13	14	15	8	9	10
5	5	5	4	7	6	1	0	3	2	13	12	15	14	9	8	11
6	6	6	7	4	5	2	3	0	1	14	15	12	13	10	11	8
7	7	7	6	5	4	3	2	1	0	15	14	13	12	11	10	9
8	8	8	9	10	11	12	13	14	15	0	1	2	3	4	5	6
9	9	9	8	11	10	13	12	15	14	1	0	3	2	5	4	7
10	10	10	11	8	9	14	15	12	13	2	3	0	1	6	7	4
11	11	11	10	9	8	15	14	13	12	3	2	1	0	7	6	5
12	12	12	13	14	15	8	9	10	11	4	5	6	7	0	1	2
13	13	13	12	15	14	9	8	11	10	5	4	7	6	1	0	3
14	14	14	15	12	13	10	11	8	9	6	7	4	5	2	3	0
15	15	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Additionstabel for Nim

Når summen er fundet ved regning med tabellen, kan man konkludere, at spillet er tabt, hvis summen er 0, men kan vindes ellers.

Modificeret nimbel

Tricket er at tælle hverandet mellemrum startende yderst til højre. Hver flytning gør et mellemrum større og et andet mindre, og det er derfor nok at se på hveranden. De træk, der gør et sort mellemrum større, kan umiddelbart ophæves af modstanderen ved flytning af tændstikken til venstre for den netop flyttede. Eksemplet har mellemrummene:

1		0				3								1		

Det svarer altså til et nim-spil med bunker på 1, 3 og 1 tændstik. Man kan derfor vinde ved at rykke den tændstik, der reducerer 3 til 0, eller ved at rykke den næstsidste tændstik et felt frem til stillingen 1, 3, 2.

Poker-nim

Den ekstra mulighed at tilføje tændstikker giver ikke større chance for gevinst. Modstanderen kan blot fjerne de tilføjede indtil man ikke har flere. Det er som i modificeret nimble. Rykkes den næstsidste tændstik et felt frem, kan den næste spiller rykke den sidste et felt frem, og så er man lige vidt.

Northcott's spil

Dette spil svarer til poker-nim. Rykkes væk fra modstanderen svarer det til at tilføje tændstikker, rykke hen mod modstanderen, svarer det til at fjerne tændstikker.

Spillet i figuren svarer derfor til et nimspil med 8 bunker med hhv. 4, 3, 2, 0, 6, 3, 1 og 5 tændstikker. Det giver os:

4	=	1	0	0
3	=	0	1	1
2	=	0	1	0
0	=	0	0	0
6	=	1	1	0
3	=	0	1	1
1	=	0	0	1
5	=	1	0	1

Stillingen er vundet, man skal blot fjerne 4 tændstikker fra en af dem, der har mere end 4. Det svarer til, at man skal rykke 4 pladser i 1., 5. eller 8. række hen mod modstanderen.

Vi kunne også benytte tabellen, $4+3=7$, $7+2=5$, $5+0=5$, $5+6=3$, $3+3=0$, $0+1=1$, $1+5=4$. Resultat, summen af spillene svarer til en nim-bunke med 4 tændstikker.

Lasker's nim

En bunke på 1 – eller 0 – tændstikker er som i nim. Er der 2 tændstikker, kan man vælge at dele den i to, {1, 1}, men det er ikke bedre end at fjerne den helt. Så det er som i nim. Men en bunke på 3 kan deles i {1, 2}. Herfra kan man trække til 0 ved at fjerne 1 fra de 2, 1 ved at fjerne de 2 og 2 ved at fjerne den ene. En situation som en nim-bunke med 3 tændstikker. Med andre ord, fra 3 tændstikker kan vi nå 0, 1, 2 og 3! En bunke med 3 tændstikker har samme værdi i Lasker's nim som en bunke med 4 tændstikker i nim. Hvad med 4 tændstikker? Den kan umiddelbart reduceres til 0, 1, 2 og 4, nemlig en bunke med 3, der har værdien 4. Og ved deling kan den blive til {1, 3} eller {2, 2}. Den første mulighed svarer til to bunker med hhv. 1 og 4, der har nim-sum 5. Den anden svarer til 2 bunker med hver 2, der har nim-sum 0. Med andre ord, en bunke på 4 kan føres til nim-bunker med 0, 1, 2, 4 eller 5. Men det er ligesom i poker-nim ikke bedre end en nim-bunke på 3. Hvis man går til 4 eller 5, så kan modstanderen altid reducere til 3. Fra de to bunker på 1 og 3 ved at tage en tændstik fra de 3 og få de to bunker med 1 og 2.

Sådan fortsætter Laskers nim periodisk med periode 4 med at ombytte værdierne af bunkerne, der giver rest 3 og 0 ved division med 4. Så 7 har nim-værdi 8 og 8 nim-værdi 7.

Reglen om den mindste undtagelse

Hvad kan vi lære af det? Jo, når et spil har de muligheder, at et træk reducerer spillet til et af en række spil, der hver for sig er ækvivalente med en nim-bunke, så er spillet selv ækvivalent med den nim-bunke, hvis antal er det mindste hele tal eller nul, der ikke forekommer i rækken.

Vi så i Laskers nim, at en bunke med 4 tændstikker kunne reduceres til en af nim-ækvivalenterne, 0, 1, 2, 4 eller 5. Det mindste hele tal, der ikke er med her, er

3. Dette spil er derfor ækvivalent med en nim-bunke med 3 tændstikker. Hvis man nemlig vælger 4 eller 5, så kan modstanderen trække begge disse muligheder til bunken med 3. Man kunne derfor lige så godt fra begyndelsen have valgt mellem mulighederne 0, 1 eller 2, de samme som man havde fra en bunke med 3.

Denne regel kaldes mindste undtageles reglen, MUR.

Kegler

Lad os anvende MUR på keglespillet. Det er klart, at 0, 1 og 2 kegler har nim-værdierne 0, 1 og 2. Også 3 kegler kan reduceres til 2, $1+1=0$ eller 1, så værdien er – tilfældigvis – netop 3.

Men 4 kegler kan reduceres til 3, 2, $1+1=0$ eller $1+2=3$, så den mindste undtagelse er 1.

Og 5 kegler kan reduceres til 4 med værdien 1, 3, $2+2=0$, $3+1=2$ og $2+1=3$. MUR giver altså værdien 4.

6 kegler kan tilsvarende reduceres til 5 med værdi 4, 4 med værdi 1, 4 og 1 med værdi $1+1=0$, 3 og 1 med værdi $3+1=2$, 3 og 2 med værdien $3+2=1$ og endelig 2 og 2 med værdien $2+2=0$. MUR giver derfor værdien 3.

Således bliver det ved, 7 får værdi 2, 8 værdien 1, 9 værdien 4 og 10 værdien 2, osv. indtil 70 kegler, der har værdien 6. Fra 71 bliver værdierne periodiske med periode 12.

Grundy's spil

Dette spil bliver umiddelbart til en sum af spil. Lad os prøve at anvende MUR på de første bunker. Bunker med 1 eller 2 kan ikke deles, så nim-værdien er 0. 3 kan deles i $1+2$, der kan altså gøre 1 træk. Derfor er nim-værdien af 3 tændstikker 1. 4 kan kun deles i $3+1$, der har værdierne $1+0=1$. MUR giver derfor 4 nim-værdien 0.

Men 5 kan deles på to måder, i $4+1$ med værdien $0+0=0$ og i $3+2$ med værdien $1+0=1$. MUR giver derfor nim-værdien 2.

Og 6 kan deles på to måder, i $5+1$ med værdien $2+0=2$ og i $4+2$ med værdien $0+0=0$. MUR giver derfor nim-værdien 1.

Endelig kan 7 deles på tre måder, i $6+1$ med værdien $1+0=1$, i $5+2$ med værdien $2+0=2$ og i $4+3$ med værdien $0+1=1$. MUR giver derfor værdien 0.

Grundy's skala

En fiks måde at beregne værdierne i Grundy's spil er at lave en spejlvendt kopi af tabellen. Når den matches med den oprindelige kommer der til at stå alle mulige måder at skrive et tal som en sum af to mindre på. F. eks. ses her beregningen af nim-værdien af Grundy's spil med 12 tændstikker.

Vi aflæser direkte summerne af parrene $11+1$, $10+2$, $9+3$, $8+4$ og $7+5$ som hhv. $2+0=2$, $0+0=0$, $1+1=0$, $2+0=2$ og $0+2=2$. MUR giver derfor 12 nim-værdien 1.

Grundy	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Nim	0	0	0	1	0	2	1	0	2	1	0	2	?		
		2	0	1	2	0	1	2	0	1	0	0			
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1			

Dawson's skak

I Dawson's skak fjernes 1, og det reduceres til 0, eller der fjernes 2 og det reduceres til 0 eller 1 bunke, eller der fjernes 3 brikker og det reduceres til 0, 1 eller eventuelt til 2 bunker.

Derfor har 1 og 2 nim-værdi 1, men 3 kan føre til 1 med værdien 1 eller 0 med værdien 0. 3 har derfor nim-værdien 2. 4 kan føre til 2 eller 1, begge med værdien 1, så 4 har nim-værdien 0.

Det viser sig at fra 52 brikker er nim-værdierne periodiske med periode 34.

Når man har beregnet de første 120 og set, at der var en periode så langt, kan man være sikker på, at der er denne periode. Man ser nemlig at på Grundy skalaen kommer der en række gentagelser svarende til perioden. Derfor vil MUR reglen give præcis samme undtagelse som for en periode siden. Argumentet virker, når der er grænser for, hvor mange, man må fjerne af gangen. Det virker derfor ikke på nim. Det ville virke på Grundy's spil, men man har ikke fundet en periode blandt de første 3 millioner. Og ialt har man fundet 42 gange værdien 0, altså 42 bunkestørrelser, som er tabt af spilleren i trækket. Den største er på 1222.

Konklusion

Hvad kan vi lære af alt dette?

At i fair spil, dvs. spil, hvor de to spillere har de samme træk til rådighed, er det befordrenden at betragte summen af spil.

At det viser sig, at alle spil kan reduceres til summen af nim-spil med netop én bunke.

At man kan definere en måde at summere på, så det umiddelbart fremgår, om et forelagt spil er tabt – sum 0 – eller vundet – sum positiv.



Mogens Esrom Larsen, er lektor ved Matematisk Institut, Københavns Universitet og medlem af Kvants redaktion.

Nyt fra Dansk Geofysisk Forening

Dansk Geofysisk Forening

Hjemmeside: www.gfy.ku.dk/~dgf

Geofysisk Afdeling
Juliane Maries Vej 30
2100 København Ø
E-mail: dgf@gfy.ku.dk

Kristian Keller (formand) (krk@kms.dk)

Henning Haack (hh@savik.geomus.ku.dk)

Karen Guldbæk Schmidt (kgs@gfy.ku.dk)

Lennart Sorth (Lennart.Sorth@uni-c.dk)

Anders Svensson (kasserer) (as@gfy.ku.dk)

En kort beretning om årets gang i DGF

Formand Kristian Keller havde skrevet sin beretning ned på bagsiden af et landkort, hvilket førte til diverse kommentarer, da han indledte med, at han ville gøre beretningen *kort*. Her følger et resume af formandens beretning samt de beslutninger, der blev truffet på Dansk Geofysisk Forenings generalforsamling den 7. marts 2002.

Antallet af foredrag i løbet af et semester er i de seneste sæsoner reduceret til to. Dette har i praksis betydet, at vi har afholdt få, men gode foredrag i DGF og derved har fået tilhørerantallet op til de enkelte fore-

drag. Vi har et stabilt antal medlemmer, og foreningen og bestyrelsen kører godt, dog er vores hjemmeside stadig under udvikling.

Hele bestyrelsen blev genvalgt, og Carl Christian Tscherning blev genvalgt som revisor, han ønsker dog ikke at fortsætte næste år, så der skal findes en ny revisor i løbet af året.

På generalforsamlingen blev det besluttet at nedsætte kontingentet for ordinære medlemmer fra 225 til 200 kr om året og for studerende fra 150 til 75 kr om året. Det blev desuden gratis for studerende at være medlem det første år — hvilket gerne skulle føre til flere studerende som medlemmer. Grunden til kontingentnedsættelsen er at det ikke længere er muligt for foreningen at opnå Corporate Membership af EGS, hvilket har været årsagen til en stor udgift for foreningen tidligere.

Det blev foreslået at vi ser på muligheden for at afholde en *geofysik-dag* engang i fremtiden. Indholdet kunne være foredrag, posters og virksomhedspræsentation for studerende.

Efter generalforsamlingen holdt Svante Björck, professor fra Lunds Universitet et meget spændende foredrag med titlen: *Kan minskad solaktivitet relateras till perioder med kallare klimat?*

Generalforsamlingen blev gennemført hurtigt og smertefrit, godt hjulpet på vej af de lune pizzasandwiches til de fremmødte — et initiativ der ville være oplagt at gentage til næste års generalforsamling.

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Dansk Fysisk Selskab

Hjemmeside: www.nbi.dk/dfs

Dorthe Posselt (formand)
IMFUFA, RUC
4000 Roskilde

E-mail: Dorthe@ruc.dk
Tlf. 46 74 26 07 / Fax 46 74 30 20



Ole Bakander (ole.bakander@post.tele.dk)

Henrik Bruus (næstformand) (bruus@nbi.dk)

Karsten W. Jacobsen (Karsten.W.Jacobsen@fysik.dtu.dk)

Ole Mouritsen (ogm@fki.dtu.dk)

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

Jens Juul Rasmussen (jens.juul.rasmussen@risoe.dk)

Poul V. Thomsen (pvt@ifa.au.dk)

DFS årsmøde 2002

Fristen for tilmelding til DFS's årsmøde samt indsendelse af abstract udløb den 5. april 2002. Tilmeldinger modtages dog også efter denne dato så længe der er plads på hotellet, men man kan ikke søge om friplads som studerende efter tilmeldingsfristens udløb. Nærmere oplysninger, program og tilmeldingsskema findes på DFS's hjemmeside www.nbi.dk/dfs samt i Kvant nr. 1, februar 2002. Inviterede foredragsholdere er bl.a. Christophe Salomon (Ecole Normale Supérieure, Paris): "The physics of ultra-cold fermions in atomic traps", Hendrik Schön (Lucent Technologies): "Superconductivity in organic materials", Dorthe Dahl-Jensen (Niels Bohr Institute, Univ. Copenhagen): "Planetary physics", Malcolm Longair (Mullard Radio Astronomy Obs, Cambridge, UK): "The Physics of Cosmology in 2002" and Michael E Cates (Dept. Physics & Astronomy, Univ Edinburgh): "What is rheological chaos?". Der arrangeres desuden

en paneldebat om 'Dansk fysik i 2015: "Hvor ligger udfordringerne og hvordan møder vi dem?"

DFS generalforsamling 2002

Der indkaldes hermed til den årlige generalforsamling i Dansk Fysisk Selskab på Hotel Nyborg Strand, fredag den 31. maj 2002 kl. 13.15.

Dagsordenen:

1. Formandens beretning
2. Godkendelse af regnskab
3. Forslag fra medlemmerne
3. Eventuelt.

En skriftlig udgave af formandens beretning vil blive bragt i næste nummer af Kvant.

Valg til DFS's hovedbestyrelse og sektioner

Det spændende valg til DFS's styrende organer blev

afgjort ved fredsvalg, da der ikke indkom flere kandidater, end der skulle vælges. I hovedbestyrelsen var der genvalg til Erik Horsdal Pedersen og Ole Bakander, mens der var nyvalg til Henrik Bruus og Per Morgen.

Sektionen for uddannelse og undervisning bestyres i den kommende periode af Karin Beyer, Roskilde Universitetscenter, Erik Both, Danmarks tekniske Universitet, Henrik Busch, Danmarks pædagogiske Universitet, Ole Goldbech, Københavns Dag- og Aftensseminarium, Gert Hansen, Århus Akademi, samt Poul V. Thomsen, Aarhus Universitet.

Faststofsektionen består af Henrik Flyvbjerg (NBI), Hans C. Fogedby (IFA), Ling Miao (SDU), Jakob Schiøtz (DTU), Kim Lefmann (RISØ), Jeppe Dyre (RUC), og Peter Bøggild (MIC).

Endelig blev Jørgen Schou, Henrik Stapelfeldt, Jan W. Thomsen og Erik Horsdal Pedersen valgt til bestyrelsen for atomfysiksektionen.

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Hjemmeside: www.snu.nbi.dk

Direktionen for SNU udgøres af:

Professor Dorte Olesen (formand)

UNI-C

Vermundsgade 5

2100 København Ø

E-mail: bente.egaa@uni-c.dk

Tlf. 35 87 88 04

Professor Søren Brunak

Professor Poul Erik Hansen

Lektor Erik Schou Jensen

Direktør, adjungeret professor Ole Mørk Lauridsen

Lektor Malte Olsen

Lektor Finn Berg Rasmussen

Lektor Jørn Johs. Christiansen (sekretær)

Aakjærs Alle 24 B

2860 Søborg

Tlf. 39 69 58 18



Maj-juni møder om aktuelle problemer ved afviklingen af de danske nukleare anlæg – og det fortsatte behov for ekspertise på området

Sammen med Dansk Dekommissionering afholder SNU den 13. maj og den 10. juni to møder, som sætter fokus på aktuelle problemer i forbindelse med

afviklingen af nukleare anlæg i Danmark, og de behov for kompetence, der fortsat vil være på området i mange år frem.

Den 13. maj lægges op til en trefløjet diskussion, sammefattet i slagordene: affaldsproblemet, miljøproblemet og kontrolproblemet. Der forventes tre korte oplæg – fra 19.30–20.30 – fra Knud Brodersen, Per Hedemann Jensen og Kåre Ulbak – og derefter diskussion.

Den 10. juni lægges op til diskussion om den kendsgerning, at viden på området er under hastig nedbrydning, og at et dansk (og internationalt) problem ser ud til at være under opsejling. Der er nemlig behov for personale med indsigt i nukleare forhold, ikke mindst strålehygiejne, i rigtig mange år fremover. Her forventes fire korte indlæg – igen fra 19.30–20.30 – ved Bertel Lohmann Andersen fra DTU, Benny Majborn fra Risø, Knud Larsen fra Dansk Dekommissionering og Søren Mattsson fra Lund – og derefter er der diskussion.

Begge møder finder sted på Geologisk Museum på Øster Voldgade 5–7, og starter kl. 19.30. Flere detaljer vil kunne læses på SNU's hjemmeside.

Efterårets program i SNU

Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd har netop udgivet sin nye strategiplan, der indeholder 6 tværgående indsatsområder (se Kvant-nyhederne side 30), som i efterårets program i SNU vil blive belyst gennem foredrag af nøglepersoner indenfor hvert af områderne:

- livets molekylære grundlag
- biokompleksitet
- universets skabelse, solsystemets dannelse og jor-

dens udvikling

- nanoscience og nanoteknologi
- molekylære reaktioner og katalyse
- it uden grænser.

Vi regner med at starte efterårsprogrammet tidligere end normalt for at kunne nå alle 6 temaer, men datoerne

er ikke endelige – det bliver dog fortsat mandag aften kl. 19.30, og med ca. 3 uger mellem hvert foredrag. De endelige datoer og foredragsholdere vil kunne ses på SNU's hjemmeside, www.snu.nbi.dk, i løbet af kort tid.

Nyt fra Astronomisk Selskab

Astronomisk Selskab

Hjemmeside: AS.dsri.dk

Michael Quaade (formand)
Hviddingvej 48
2610 Rødovre

E-mail: mq@dsri.dk
Tlf. 36 72 36 34 (priv.) / 43 58 69 47 (arb.)

Hans Sørensen (kasserer)
Stavnsholtvej 32
3520 Farum

E-mail: hans-soh@post1.tele.dk
Tlf. 44 95 11 79



Foredragsrække i København og Århus i efteråret 2002 om store asteroider og meteoritter

Meteoritter er sten der er faldet til Jorden fra rummet. De repræsenterer et unikt materiale af kosmisk oprindelse som forskerne kan tage med og studere i laboratoriet. Nogle meteoritter – kondritter – er "rester" der blev til overs da solsystemet blev dannet for 4,6 milliarder år siden, og de er forblevet uændret siden dengang. Studier af disse meteoritter kan give enestående materiale til forståelse af solsystemets tidligste tider. Andre meteoritter stammer fra større legemer i solsystemet, primært fra asteroiderne, men der er også eksempler på meteoritter som stammer fra Månen og fra Mars.

De fire første foredrag fortæller om hvad forskning i meteoritter kan lære os om solsystemets dannelse og udvikling. Vi slutter af med et foredrag om asteroiderne, hvorfra hovedparten af meteoritterne stammer. De fleste asteroider eller småplaneter bevæger sig om Solen mellem Mars' og Jupiters baner, men der findes også asteroider, der krydser Jordens bane. Det sidste foredrag vil omtale studier af asteroiderne og deres baner, samt de overvågningsprogrammer (LINEAR, LONEOS, Spacewatch etc.) som søger at kortlægge banebevægelserne for nærgående asteroider.

I København afholdes foredragene i det store auditorium i Rockefeller Komplexet, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø.

I Århus afholdes foredragene på Matematisk Institut på Aarhus Universitet.

Foredragene holdes følgende mandage kl. 19:15:

Henning Haack, Geologisk Museum:

Meteoritter og solsystemets dannelse

9. september i København

16. september i Aarhus

Jørgen Albertsen, Greve Gymnasium:

Strukturen i jernmeteoritter

30. september i København

7. oktober i Aarhus

Kristoffer Leer, Niels Bohr Institutet:

Marsmeteoritter

21. oktober i København

28. oktober i Aarhus

Anja C. Andersen, Niels Bohr Institutet:

Stjernestøv i meteoritter

11. november i København

18. november i Aarhus

Leif Kahl Kristensen, Aarhus Universitet:

Asteroider

2. december i København

9. december i Aarhus

Dr. N.P. Wieth-Knudsen Observatoriet

I artiklen om observatoriet i *Kvant* 4/2001 kunne man bl.a. læse om et 40cm teleskop, som vi søgte fondsstøtte til. Villum Kann Rasmussen Fonden, Friluftsrådet og Thomas B. Thriges fond har bevilget de nødvendige midler til anskaffelse af teleskopet, som forventes leveret i foråret 2002.

Der er tale om et Meade LX200 Schmidt-Cassegrain teleskop med en objektivdiameter på 406mm. Det nye teleskop vil betyde en helt afgørende forbedring af observatoriets muligheder. Opstillet under Tisvildes mørke himmel vil et teleskop på denne størrelse kunne vise en gengivelse af lyssvage objekter som tåger og galakser, som næppe overgås noget andet sted i Danmark. Med en gå-afstand på 20 minutter til Godhavn station er det tillige nemt at komme til observatoriet med offentlig transport. Det er på mange måder et helt enestående tilbud til både foreningens medlemmer, gæsterne ved åbent-hus arrangementerne den anden og den sidste lørdag i hver måned og til de skoleklasser og andre grupper, der besøger observatoriet.

Løsninger og kommentar til breddeopgaver side 16

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter.

Løsning til opgave 7

Den kernereaktion, der er tale om, må være en neutronindfangning i en siliciumkerne med en efterfølgende omdannelse af en neutron til en proton og en elektron. Herved er der skabt et atom i siliciumgitteret med en ekstra proton i kernen samtidigt med, at der er frigivet en elektron, der kan bevæge sig relativt frit, fordi den er i overskud i forhold til gitterstrukturen. Ved neutronbesrålingen frembringes der derfor en n-type halvleder, da der fremkommer ekstra bevægelige negative ladninger.

Løsning til opgave 8

Det er ikke forskelle i mobiliteten af ladningsbærerne i henholdsvis metaller og halvledere, men forskellen i antallet af frie ladningsbærere, der medfører størrelsesordensforskellene i ledningsevner. Brøkdelen af en ren halvleders elektroner i valensbåndet, der er eksiteret op i ledningsevnebåndet, og derfor kan bevæge sig frit, er $\exp(-E_g/k_B T)$, hvor E_g er halvlederens båndgab. Da der størrelsesordensmæssigt er det samme antal elektroner i halvlederens valensbånd, som der er frie elektroner i metallernes ledningsevnebånd, angiver denne Boltzmann-faktor også forholdet mellem frie ladninger i halvlederen og i et metal, og derfor også forholdet mellem halvlederens og metallens ledningsevner. Altså gælder:

$$\exp(-E_{gSi}/k_B T) = 10^{-11}, \quad \exp(-E_{gGe}/k_B T) = 10^{-7}, \quad (1)$$

$$\frac{E_{gSi}}{k_B T} = 11 \ln(10), \quad \frac{E_{gGe}}{k_B T} = 7 \ln(10), \quad (2)$$

og

$$\frac{E_{gSi}}{E_{gGe}} = \frac{11}{7} \quad (3)$$

Kommentar

I breddekurset er der blot indlagt én kursusgang (af tre timer) til kernefysik, én kursusgang til atom-, molekyl- og faststoffysik, og én kursusgang til statistisk mekanik. De studerende har derfor ikke på dette

trin af deres fysikuddannelse forudsætninger for at bedømme værdien af de anførte opgaveløsninger ud fra mere grundlæggende kernefysiske (andre kernereaktioner end neutronindfangning og beta-henfald), faststoffysiske (urenhedstilstande) og statistisk mekaniske (Fermi-Dirac fordeling) forståelser. Men måske er det en pædagogisk fordel, at de derfor her i første omgang tvinges til at orientere sig imod at se skoven før de mange træer siden komplicerer billedet. De studerende er godt klar over, at de kun er blevet præsenteret for en introduktion til de nævnte fysikemner.

I introduktionsartiklen til rækken af breddeopgaver i KVANT nr. 1, marts 2000, nævnte jeg, at der ved udarbejdelsen af opgaverne er forsøgt taget følgende 7 hensyn:

- 1) Rimelig behandling af de antydede problemer skal forudsætte fysisk forståelse.
- 2) Opgaverne skal vedrøre de centrale begrebsdannelser og forståelsesmåder i fysikken.
- 3) Opgaverne skal tilsammen udspænde pensum.
- 4) Løsning af opgaverne skal kunne ske ved simple regninger.
- 5) Problemstillingerne skal kunne formuleres i dagligdags sprog, således at den nøjere præcisering af problemerne i fysiske termer bliver et centralt punkt ved opgaveløsningen.
- 6) Opgaverne skal have en rimelig sværhedsgrad.
- 7) Opgaverne skal vedrøre virkelige, ikke tænkte, problemstillinger.

De to opgaver denne gang er bl.a. valgt for at illustrere den erfaring, at det kan være vanskeligere at leve op til disse hensyn i forbindelse med moderne fysik end i forbindelse med klassisk fysik. Især kan det volde vanskeligheder at honorere punkt 5 og punkt 7. Dybfrysere og tørretumblere er tættere på dagligdags erfaringer end halvledere.

Alligevel mener jeg, at opgave 7 opfylder kravene til en breddemodulopgave. For de studerende fungerer "neutronbesråling", "p-type halvleder" m.m. som tekniske termer, der går forud for de fysiske præciseringer ved opgaveløsningen. Og opgaven vedrører også en virkelig problemstilling, selvom den jo nu med lukningen af DR3 desværre er blevet historisk. Derimod forbyrder opgave 8 sig imod konceptet ved at spørge til det udpræget internt fysiske begreb båndgab.



Er du nørd?

TEST
DIG SELV

- ☐ Er du 2. g matematiker/HTX'er?
- ☐ Fejrer du Bohrs fødselsdag?
- ☐ Kan du π med 53 decimaler?
- ☐ Ser du sommetider Viden Om?
- ☐ Ved du, hvor stort Universet er?
- ☐ Foretrækker du tørre i din drink?



Kopernikursus afholdes i tidsrummet 30. juni til 7. juli på Rødding Højskole i det naturskønne Sønderjylland. Ansøgning om deltagelse finder sted via hjemmesiden. Ansøgningsfristen er 1. maj 2002.

Mere information om dette og tidligere kurser fås på www.kopernikursus.dk eller ved henvendelse til: Mia Stampe, Dansk Rumforskningsinstitut (e-mail: stampe@dsri.dk, tlf: 3532 5723).



Kan du svare 'ja' til bare **et** af ovenstående spørgsmål, er du kvalificeret til at søge om at deltage i Kopernikursus 2002. Også selv om du enten skulle have små skavanker som interesse for musik og sport eller f.eks. lider af en udadvendt og social adfærd.

Årets Hovedtemaer

Partikelfysik

kvarker, skvarker, leptoner, sleptoner og andre små ting, som gør verden stor

Kolde atomer

relativitetsteori, langsomt lys og kvantemekanik for novicer

foruden en lang række stjerneforedrag om bl.a. astronomi, geofysik, biofysik og matematik samt planetarie- og virksomhedsbesøg



Kopernikursus er en uges fed fysik med førende danske forskere, som fyrer deres favoritemner af specielt for dig!

www.kopernikursus.dk

Bering – en lille rumsonde med et stort navn

Danmarks første deep-space mission

John Leif Jørgensen, Ørsted•DTU, Anja C. Andersen, NBI/AFG, Henning Haack, Geologisk Museum, René Michelsen, NBI/AFG.

Danskeren Vitus Bering var en af verdens store opdagelsesrejsende. Bering opdagede i 1728, at Asien og Amerika er adskilte kontinenter, og i 1741 kortlagde han som den første Alaskas vestkyst. Hvor Columbus bandt verden sammen mod vest, gjorde Bering det mod øst.

Lige som Vitus Bering er det vores ambition at rumsonden der bærer hans navn skal udforske nye områder som de fleste for få år siden ville mene var uden for rækkevidde af en dansk bygget satellit – nemlig en tur ud til asteroidebæltet der ligger mellem planeterne Mars og Jupiter. Vi står lige nu i den enestående situation at vi rent teknisk er de eneste i verden der kan gennemføre en sådan mission til en meget billig penge.

Asteroidebæltet er trods dets relative nærhed til Jorden en ret udforsket del af vores Solsystem. De fleste sonder der har været sendt fra Jorden og ud gennem Solsystemet har passeret asteroidebæltet med instrumenterne slukket og vi har derfor kun sparsom viden fra nogle ganske få missioner.

Asteroidebæltet strækker sig fra ca. 2 til 5 astronomiske enheder¹ fra Solen. Den største asteroide vi kender er Ceres der har en diameter på knap 1000 km. Hvor mange asteroider der findes i asteroidebæltet er helt ukendt, idet det afhænger af hvor mange små objekter der er. Man forventer at der er sket en vis sorteringseffekt fra asteroidebæltet således at de mindste sten er blevet rensat ud. Men hvor dette cutoff evt. ligger er der stor uenighed om. Generelt forventer man at mængden af asteroider følger en eksponentiel funktion (se figur 1), dvs. at objekter med en størrelse på omkring 1 km må være meget hyppige. Ud fra de nuværende observationer er der ingen mulighed for at sige noget om hvorvidt cutoff f.eks. ligger over eller under 10 m. Til dato kender man ingen asteroider i asteroidebæltet der er mindre end et par kilometer.

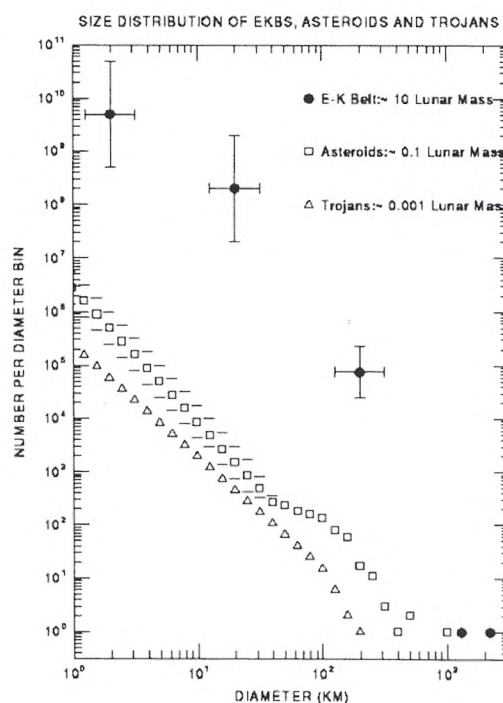
Små asteroider

En kortlægning af de små asteroider vil give os indsigt i deres dynamik og dette er vigtigt af tre grunde:

- Banerne af små objekter bliver lettere perturbet, hvilket giver en kortere levetid for de små objekter før de ender deres dage ved at flyve ind i Solen eller blive smidt helt ud af solsystemet.
- Til forskel fra de store asteroider vil de små formentlig ikke være dækket af et tykt støvlag og deres

overflader vil derfor være blottede så vi kan afgøre hvilke mineraler de består af.

- Nogle af de små asteroider stammer fra de samme kilder som meteoritterne.



Figur 1. Størrelsesfordelingen af asteroider i asteroidebæltet (åbne firkanter) ud fra jordbaserede observationer. Det store spørgsmål som Bering kan besvare er hvordan fordelingen ser ud for de små asteroider. (Figur fra [1].)

Information om deres banefordelinger sammenholdt med deres spektrale karakteristika vil derfor give nye bånd på sammenhængen mellem asteroider og meteoritter. Desuden vil en bestemmelse af hyppigheden af de små asteroider give en meget bedre alderbestemmelse af planeters og måners overflader. F.eks. ud fra en vurdering af antallet af kratere på Mars' nordlige halvkugle har man vurderet at der har været kraftige lavastrømme for mindre end 10 millioner år siden. Hvis man har mulighed for at bestemme tidspunktet for lavastrømmene bedre vil det give ny indsigt i Mars' klimatiske og geologiske udvikling.

Hvis en lille asteroide tidligere har været del

¹En astronomisk enhed (AU) er middelfaststanden mellem Jorden til Solen.

af et større legeme der besad et indre magnetfelt, ligesom Jorden, vil der stadig findes et permanent felt, formentlig i form af et simpelt dipolfelt, i asteroiden. Et sådant felt vil vekselvirke med solvinden og dermed resultere i forskellige magneto-hydrodynamiske fænomener, der vil kunne måles. Hvis asteroiden er en "grusbunke" bestående af små magnetiserede stykker, vil det samlede magnetfelt være anderledes end hvis der er tale om en sten, der ikke besidder noget permanent magnetfelt. En bestemmelse af en asteroides magnetfelt vil derfor give viden om asteroidens porøsitet og mineral sammensætning og dermed et bud på massen. Kun en asteroide har tidligere fået målt sit magnetfelt og det var da rumsonden Gallileo på sin vej mod Jupiter målte magnetfeltet af asteroiden Gaspra [2].

Ud over at kendskab til en asteroides porøsitet vil give os indsigt i mulige dannelses senarier for asteroiden, så er det også nødvendigt at kende porøsiteten for at kunne vurdere faren for at en asteroide rammer Jorden. En fast klippe vil formentlig opføre sig anderledes under et sammenstød med en planet-atmosfære end en "bunke grus".

Store asteroider

Kilometer-store objekter er store nok til at repræsentere en reel fare, men stadig små nok til at det stort set er umuligt at finde dem med kikkerter fra Jorden. Selvom de ikke er det egentlige mål for Bering missionen forventer vi at Bering vil opdage 5 – 10 af disse store asteroider per år. Nogle af disse forventes at være tæt nok på Bering fartøjet til at det er muligt at lave flerfarve fotometri på objektet. Dette vil give information om den taksonomiske klassifikation af asteroiden (dvs. hvilken type det er og hvilke mineraler den består af, se [3] side 17). Desuden vil der kunne observeres lyskurver fra asteroiden, hvilket vil kunne bruges til at bestemme rotationsperioden for objektet, idet det vil afsløre lysvariationer som funktion af tiden. Endelig må man ikke glemme at der er et væld af information i et overfladebillede i flere farver, det tjerner til mere end blot at levere gode presse billeder. Ud fra et sådant billede vil mængden af kratere og deres størrelse, form og struktur kunne bestemmes. Kratere vil evt. kunne løfte sløret for hvor tykt et støvlag asteroiden er dækket af og afsløre dybere liggende mineraler.

På nogle af de store objekter har vi planer om at skyde et lille magnetometer afsted mod asteroiden. Ved at følge magnetometeres bane med Berings teleskop vil vi kunne bestemme afbøjningen af magnetometeres bane efterhånden som det bliver fanget ind i asteroidens tyngdefelt. Derudover vil vi få endnu mere information om asteroidens magnetfelt end vi kan opnå fra det magnetometer der er placeret på en bom på selve rumsonden. Da vi også vil kende den præcise afstand fra Bering til asteroiden vil vi have størrelsesparametrene for asteroiden bestemt med stor nøjagtighed.

Måleprincipperne

Teleskopet på Bering har en åbningsvinkel på $0,5^\circ$, hvilket betyder, at et billede fra teleskopet dækker under 1/200.000 del af himmelen. Chancen for at teleskopet netop skulle detektere en forbiflyvende asteroide er derfor meget lille. Stjerne kameraene derimod, dækker hver ca. 1/100 af firmamentet, og på grund af Berings langsomme rotation, vil de effektivt afsøge næsten hele himmelbuen en gang i timen, hvorfor alle større asteroider vil blive detekteret. Det er altså helt essentielt for missionen, at stjerne kameraene kan finde asteroiderne, så teleskopet herefter kan rettes mod dem.

Stjerne kameraenes store billedfelt sætter desværre en grænse for hvor lyssvage objekter der kan følges. Når Bering er længst væk fra solen, 3,7 AU, vil en 10 km asteroide således "kun" kunne detekteres 6 – 7 millioner km væk, mens det samme objekt kan ses mere end 20 millioner km væk her ved jorden.

Teleskopet derimod, kan følge objekterne langt længere væk, når de først er opdaget. Lidt afhængig af hvordan banen for asteroiden ligger, dvs. hvilken belysning (fase) den har, når den er længst væk, vil teleskopet kunne følge den 4 – 6 gange længere væk end stjerne kameraet kan. Det er vigtigt at kunne følge asteroiderne så længe, at en sikker bestemmelse af deres baneparametre kan opnås.

Figuren på Kvants bagside viser detektions- og tracking-zonen omkring rumskibet. Figuren illustrerer også et problem som er fælles for alle "enøjede" måleinstrumenter, aperturproblemet: Et lille objekt er alt andet lige mindre lysstærkt end et stort. Ved en forbiflyvning, er det ikke muligt at afgøre om der er tale om et stort objekt der hastigt flyver forbi langt væk, eller om der er tale om et lille langsomt objekt tæt på, dette kan kun afgøres ud fra en bestemmelse af banen.

Teleskopet på Bering sigter mod at måle fluxen af alle størrelser af asteroider, men er i også i stand til at kunne tage billeder af overfladen på et objekt der kommer tæt nok på. For hurtigt at kunne afgøre afstanden til et objekt, uden at skulle vente på en bestemmelse af banen, er Berings teleskop udstyret med en laser ranger, som kan måle afstand og radialhastighed af alle objekter der er nærmere end 20.000 km. På den måde kan Bering hurtigt kontrollere afstanden til de fundne objekter, og afgøre om der skulle være mulighed for et par nærbilleder af overfladen.

Måleprincipperne for Berings instrumenter, er beskrevet mere detaljeret i det følgende.

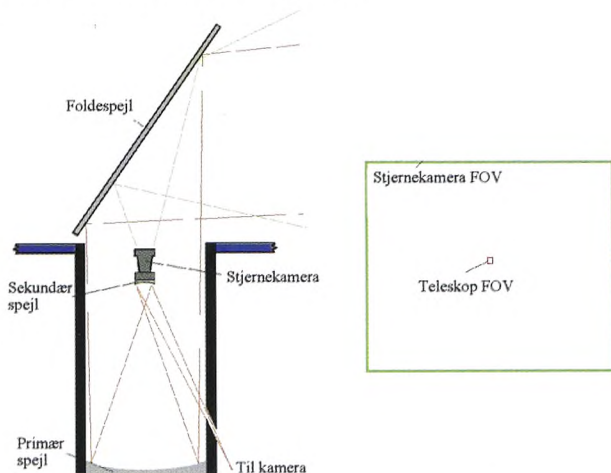
Stjerne kameraerne

Stjerne kameraerne, som de bruges på f.eks. Ørsted Satellitten, arbejder sædvanligvis med relativt kraftige stjerner, når de skal bestemme rumskibets orientering i rummet (attituden). Dette gøres for ikke at overbelaste computeren med regnearbejdet på en masse svage og for attitude-beregningen ubetydelige stjerner. Ved en attitude-samlingsfrekvens på 1 per sekund, sættes

stjerne-tærskelværdien derfor typisk til mv 7. På Bering vil samme grænse blive brugt for at finde attituden, men når først den er fundet, kan alle lysende objekter ned til en størrelsesklasse på mv 9,5 let undersøges. Mens stjernekataloget for stjerner ned til mv 7 indeholder 14.500 stjerner, så indeholder kataloget med stjerner ned til mv 9,8 mere end 380.000 stjerner. Til sammenligning kan et menneskeøje opfatte stjerner ned til ca. mv 6, hvilket svarer til de 6.000 klareste.

Når man begynder at se efter lysende objekter svagere end mv 6, vil man ikke blot se svagere stjerner, men også galakser (De Magellanske skyer og Andromedagænen, vores klareste galakser, kan lige ses med øjet), nebulae etc. For at udelukke disse fra yderligere behandling, sorteres alle de detekterede objekter således at kun de der bevæger sig i forhold til baggrunden bliver registreret i target-kataloget, dvs. et katalog over objekter der skal undersøges nærmere.

Både denne sortering samt den efterfølgende behandling af target-kataloget lettes dramatisk af, at stjerne-kameraet arbejder direkte i astrometriske enheder. Således registreres for hver observation, objektets rektascension, deklination og tid. Ved en senere observation af samme område af himlen, er det derfor let at isolere bevægede objekter.



Figur 2. Berings teleskop hvor et ekstra stjernekamera vil blive placeret som et sekundært spejl.

Tracking med teleskopet

Bering bruger sin forsyning af kold gas til at opretholde en præcis attitude bevægelse, samt til at holde antennen rettet mod jorden. Hvis rumfartøjet skulle bruge gas til at dreje teleskopet mod videnskabeligt interessante objekter ville man kun kunne operere 2 – 3 måneder før gassen var brugt op. Desuden ville sådanne manøvrer betyde at man taber forbindelsen med jorden samt at sol-panelerne kunne blive drejet væk fra og kamera-kølepanelet drejet ind imod solen.

Bering teleskopet er derfor forsynet med et såkaldt foldningsspejl, der let retter teleskopets synsakse mod interessante dele af himlen. Denne teknik er ikke

ny, men på Bering, der jo kræver en høj grad af autonomi, er der placeret et ekstra stjernekamera oven på teleskopets sekundære spejl, der har omtrent samme synsakse som teleskopet. Dette er vist på skitsen figur 2.

Når foldningsspejlets motorer har rettet teleskopets synsakse nogenlunde mod et ønsket mål, vil stjerne-kameraet i løbet af 2 – 3 sekunder have finjusteret syntaksen således at målet er midt i teleskopets synsfelt. Ved løbende at bruge stjerne-kameraets målinger til at korrigere spejlets position, kan målet holdes i teleskopets billedfelt selvom Bering roterer og selvom målet bevæger sig forholdsvis hurtigt. Denne mekanisme sikrer ikke blot at man hurtigt kan få billeder af et objekt, den sikrer også mod at de uundgåelige justeringsfejl og unøjagtigheder i spejldrevet gør at man rammer ved siden af målet.

En ekstra finesse ved denne operation er, at den tillige gør det muligt at bruge en metode som Ørsted•DTU har udviklet til kalibrering af jordbaserede astronomiske teleskoper; ASCFIT. ASCFIT algoritmen beregner på grundlag af en omtrentlig attitude, og et teleskopbillede, en meget nøjagtig attitude ud fra teleskopbilledets stjerner. For Beringteleskopet er attitudenøjagtigheden 20 millibuesekunder. Og det er på grundlag af denne nøjagtighed, at asteroidens banebevægelse kan beregnes.

Laser-rangeren

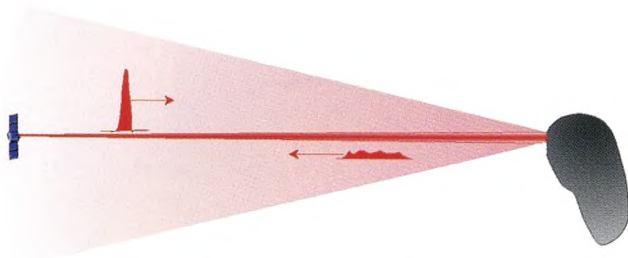
Laser-ranger instrumentet, er designet til at virke sammen med teleskopet, hvorved en stærkt forbedret ydeevne opnås. Selvom princippet i en laser-ranger er yderst simpelt, man måler tiden fra en lyspuls sendes ud, til den returner efter at have ramt målet, er der en serie tekniske vanskeligheder der skal overvindes for at den kan virke over større afstande.

Laserkilden i Bering instrumentet er en Nd:YAG, som bliver pumpet med diodelasere. Ved hjælp af Q-switching, kan 20 ns pulser med 0,5 J energi opnås.

Normalt ønskes der en vis divergens af laser-beamet, for at sikre at man virkeligt rammer målet (som de fleste politibetjente som har prøvet en laser hastighedsmåler ved). Men i Berings tilfælde sikrer teleskopets præcisionsstyring, at målet altid er midt i billedfeltet, hvorfor man kan tillade sig at optimere mod så lille beam-divergens som muligt. For et Gauss-beam er divergensen givet ved $\lambda/(\pi D)$, hvor λ er laserens bølglængde og D laserens udgangs-pupildiameter. For at få så stor kontrast som muligt mellem laserlyset og sollysets tilbagekastning fra asteroiden, er $\lambda = 1,064$ nm valgt. Med Beringteleskopets 250 mm pupildiameter opnås, at pletten kun er 30 m i 20.000 km's afstand.

En lille pletstørrelse er vigtig, da den sikrer den minimale pulsforbredning som følge af løbetidsforskellene som terrainvariationer på asteroiden uværgeligt vil skabe. Ved en stor plet, er chancen for

at laserpulsens reflekteres fra stærkt varierende dybder på asteroideoverfladen stor. En 20 ns puls er kun 6 meter lang, men hvis den reflekteres fra en skrånende overflade, hvilket jo er tilfældet hvis man ikke rammer midten af asteroiden, eller hvis man rammer et krater, kan returpulsens længde bliver flere hundrede nanosekunder lang.



Figur 3. Pulsdilatation pga. asteroidens overflade struktur.

Som detektor benyttes en såkaldt avalanche fotodiode. For at begrænse det reflekterede sollys mest muligt er fotodioden forsynet med en iris og et båndpas farvefilter. Irisen begrænser synsfeltet til laser-pletens område, mens farvefilteret frafilterer lys med alle andre bølglængder end dem lige omkring laserens.

Konklusion

Bering vil være den første rumsonde der vil lede efter og kunne opdage og karakterisere små asteroider – mindre end et par kilometer. For at kunne følge fordelingen af asteroider i Jordens omegn og ud til asteroidebæltet, vil den skulle bevæge sig i en bane mellem 0,7 og 3,5 astronomiske enheder. Dette vil kunne bidrage med afgørende information om størrelsesfordelingen af små legemer i de indre dele af Solsystemet og i asteroidebæltet (se figur 1). For hver opdagelse forventer vi at:

- Bestemme den heliocentriske position og hastighedsvektor af asteroiden, dvs. asteroidens bane.
- Foretage fotometri af den reflekterede lys fra asteroiden i bølglængdeområdet 350 – 2200 nm, som

vil give information om asteroidens spektral type og dermed hvilken klasse af asteroider (og meteoritter) den hører sammen med (taksomomisk klassifikation).

- Observere lyskurven af objektet og derved udlede rotationsperioden.

For nogle enkle større asteroider vil vi desuden kunne:

- Optage flerfarve-billeder af overfladen.
- Bestemme massen og måle det magnetiske moment af asteroiden, og ud fra dette få information om porøsitet og mineral sammensætning.

Referencer:

- [1] M. G. Kivelson, L. F. Bargarze, K. K. Khurana, D. J. Southwood, R. J. Walker og P. J. Jr. Coleman (1993) *Science*, bind 271, side 331.
- [2] D. R. Davis, P. Farinella og F. Marzari (1997) *Lunar and Planetary Science Conference*, bind 28, side 287.
- [3] R. Michelsen, J. L. Jørgensen, H. Haack og A. Andersen (2002) "Asteroider, meteoritter og Bering", *Kvant*, bind 13, nr. 1, side 15–20.



Forfatterne (fra venstre): John Leif Jørgense er lektor på DTU og del af mastermind-teamet bag Ørsted satelliten, Anja C. Andersen er forskningsadjunkt i astrofysik ved NBIfAFG, René Michelsen er Ph.D.-stipendiat ved NBIfAFG i astronomi og Henning Haack er lektor ved Geologisk Museum og kurator for meteoritsamlingen samme sted.

KVANT-nyheder

Redigeret af Michael Cramer Andersen

Kolde antibrintatomer i magnetfælde

ATOMFYSIK. Ved CERN er der flere eksperimenter tilrettelagt til produktionen af kolde antibrintatomer, bl.a. for at studere om de også adlyder tyngdekraften, kvantemekanikken og relativitetsteorien. Antibrint består af en antiproton med en positron (elektronens antipartikel) udenom. Antiprotoner findes i kosmisk stråling og

positroner produceres f.eks. nær aktive galaksekerner. Der kunne teoretisk være større mængder antistof i Universet såsom antistjerner, antiplaneter og antigalakser, men når dette antistof møder almindeligt stof skulle der opstå katastrofale gammastrålingsudbrud hvilket ikke er set (de velkendte gammaglimt kræver en anden forklaring). For at optage et spektrum af antistof må fysi-

kerne altså selv producere det. For få år siden lykkedes det at skabe ca. 12 antibrintatomer i et eksperiment ved CERN, men de var varme og blev tilintetgjort ved destruktionen. Ved et nyt eksperiment bremses en stråle af 6 MeV antiprotoner (dannet ved at beskyde et fast target med protoner) ned med en faktor 10^{10} så de har temperaturen 4 K. Dette opnås delvist ved at mikse dem med kolde elektroner som har samme ladning. Antiprotonerne sendes derefter ind i en magnetisk fælde, da de ikke kan opbevares på anden måde uden straks at annihilere. Omkring 300.000 positroner, dannet ved henfald af natrium-22, køles ned og sendes ind i magnetfælden hvor der er ca. 50.000 antiprotoner. Herved annihilere størstedelen af positronerne med elektronerne der virkede som kølemiddel. Lederen af forsøget, Gerald Gabrielse, mener at der bliver dannet kold antibrint i det neutrale plasma og er ved at installere udstyr der kan måle på antiatomerne. I dette forår tages en større udgave af Gabrielses forsøg i anvendelse også ved CERN. Her vil der kunne anvendes lasere til spektroskopiske studier af de formodede antibrintatomer som findes i partikelskyen.

Kilder: AIP Physics News 577, 20. februar 2002, CERNs antibrintproduktion: athena.web.cern.ch/athena, ATRAP: hussle.harvard.edu/~atrap

Flere penge til naturvidenskabelig forskning

FORSKNINGSPOLITIK. Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd (SNF) har offentliggjort en strategiplan for 2003-2007. SNF støtter, med et årligt budget på ca. 146 mio. kr, allerede en lang række forskningsprojekter indenfor naturvidenskab men må afvise alt for mange ansøgninger på grund af begrænsede midler. Danmarks investeringer i naturvidenskabelig forskning og uddannelse, målt i forhold til bruttonationalproduktet, er omkring 50-75% af hvad lande som Sverige, Finland, Holland, Tyskland og USA gør. Hvis Danmark skal bevare sin internationale position skal der flere midler til. SNF peger på flere områder hvor det er afgørende at sætte ind. Der skal etableres stabile karriereforsløb for unge danske forskere af begge køn. Gennem flerårige stipendier til forskere på professor- lektor- eller adjunkt niveau vil universiteterne kunne holde på de dygtigste forskere. Her vil SNF gerne kunne bidrage med 45 mio. kr om året, gennem Rømer-Skou-Stenostipendier, og derved afhjælpe generationsskifteproblemet (at størsteparten af forskere ansat på universiteterne i 1970'erne vil gå på pension om få år). Den hurtige teknologiske udvikling har medført, at mange apparater og instrumenter er forældet og fornyelsen af instrumentparken løber op i 30 mio. kr om året. I internationale forskergrupper er udvekslingen mellem danske og udenlandske post.doc'er af afgørende betydning, her vurderer SNF at der skal bruges 10 mio. kr om året. SNF peger desuden på følgende tværvideenskabelige områder som der bør sættes på: Livets molekylære grundlag; Biokompleksitet, Uni-

versets skabelse, solsystemets dannelse og Jordens udvikling; Nanoscience Nanoteknologi; Molekylære reaktioner og katalyse samt IT uden grænser. Det samlede budget er på ca. 280 mio. kr om året (dobbelte så meget som nu) og det vil kunne sikre Danmarks internationale position.

Ved en præsentation af strategiplanen den 18. marts på Niels Bohr Institutet var der generelt positive tilkendegivelser fra repræsentanter fra Dansk Industri, LO, Det danske Handelskammer, Universiteterne, Haldor Topsøe, STVF og Folketingets Forskningsudvalg. Hvis den brede opbakning også følges op økonomisk ser det ud til lysere tider for dansk naturvidenskabelig forskning.

Kilde: Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd, Strategiplan 2003-2007, Naturvidenskabelig forskning – En investering i Danmarks fremtid. http://www.forsk.dk/snf/publ/stratplan/snf_strategi.htm

Fusion ved sonoluminiscens?

KERNEFYSIK. Et forskerteam hævder, at have set deuterium-deuterium fusion ved et laboratorieeksperiment på Oak Ridge National Lab, men resultaterne er tvivlsomme mener andre. Eksperimentets kerne er en kolbe med væske hvor der med lydbølger skabes små bobler som kolliderer og udsender korte lysglimt – et fænomen der kaldes sonoluminiscens. Energien i lydbølgerne fokuseres så meget i de kollapsende bobler, at gassen opvarmes og udsender lys. Koncentrationen af energien ved konverteringen fra lydbølger til lys menes at være over en trillion (10^{12}) og temperaturen omkring 10.000°C . Sonoluminiscens er velstuderet men alle detaljer er ikke forstået. Kan sonoluminiscens præstere temperaturer og tætheder der tillader kernefusion? Et spørgsmål der er interessant i sig selv ved at eksperimentet kan stå på et køkkenbord. Forskerteamet anført af Taleyarkhan anvendte deuteriumholdigt acetone som væske, rettede 19,3 kHz lydbølger mod kolben og beskød yderligere opstillingen med pulser af neutroner (med energien 14,3 MeV) synkroniseret med lydbølgerne. Forskerne målte signifikante spor af tritium (brint med to ekstra neutroner) og neutroner med en energi på 2,5 MeV. Sådanne neutroner ville blive produceret ved fusion af to deuteriumkerner. Ved en gentagelse af eksperimentet med almindelig acetone, der ikke var beriget med deuterium, sås hverken tritium eller neutroner. En anden forskergruppe har gentaget eksperimentet og fandt en stigning på 1% af neutron/gammastrålingsniveauet, men fandt ikke tilstrækkeligt med tritium hvis det skulle stamme fra deuterium-deuterium fusion. En af de førende forskere i sonoluminiscens, William Moss, kritiserer konklusionen om at der skulle foregå fusion idet temperaturen for fusion typisk er millioner af grader og det er langt fra hvad sonoluminiscens kan yde. Selv om der er målt neutroner med energien 2,5 MeV, er det ikke tydeligt nok til at overbevise ham. Hvis neu-

tronerne er af termionuklear oprindelse må der være en tydelig top ved 2,5 MeV og i eksperimentet var signalet svagt. Forskerteamet der står bag forsøget påstår, at de detekterede neutroner svarer i antal til 1/1000 af de mere energirige neutroner som skydes ind mod kolben. Man kan udmærket forestille sig, at det blot er neutroner der har tabt noget af deres energi ved gennemtrængningen af de koncentrerede bobler. Men før der præsenteres et egentligt neutronspektrum kan sagen ikke afgøres. En førende sonoluminiscens eksperimentator konkluderer, at det ikke nødvendigvis er umuligt at skabe fusion med en sonoluminiscenskilde, men en så ekstraordinær påstand kræver ekstraordinært gode beviser og dem har forskergruppen ikke præsenteret. Selvom eksperimentet altså ikke er et bevis for sonofusion er perspektiverne til gengæld opsigtsvækkende: Kan et rent mekanisk system (akustisk dannede bobler) inducere kernereaktioner?

Kilder: AIP Physics News 579, 5. marts 2002; Science 8. marts 2002.

Flyvende atomur

ATOMFYSIK. Når et ur bevæger sig går det langsomere og hvor meget langsommere kan man beregne med Einsteins relativitetsteori. Virkeligheden stemmer med teorien og de mest præcise målinger er blevet foretaget med et atomur ombord på et fly som bagefter blev sammenlignet med et tilsvarende atomur der blev på Jorden. Det mest nøjagtige atomur, NIST F-1, ved National Institute of Standards and Technology (NIST) i USA har en nøjagtighed på $1 : 10^{15}$ (taber 1 nanosekund på en million år!). Et ato-

mur virker ved, at man beskyder en samling kolde atomer (typisk cæsium) med mikrobølger og aflæser den frekvens som absorberes af en bestemt overgang i atomerne. Jo mere stille atomerne ligger jo større præcision. Bølgelængden af mikrobølgerne, relateret til lysets hastighed, definerer et standard sekund som er den grundlæggende tidsenhed. NIST F-1 atomuret udnytter cæsiumatomer i en fælde. Cæsiumatomerne puffes forsigtigt opad og beskydes med mikrobølger netop når de har maksimalhøjden (med hastighed nær nul). Derefter falder de ned. Jordens tyngdekraft forhindrer derfor målinger over længere tid. NIST arbejder nu på at sende et tilsvarende atomur op til Den internationale Rumstation (ISS) i 2005. Fordelen her er, at atomerne ikke vil falde hvorfor der kan måles på dem i længere tid og det giver en bedre tidsstandard. Atomuret vil kunne fungere som en international tidsstandard og blive koblet til GPS-satellitterne og sammenlignet med atomure på Jorden. Der er også planer om flere atomure ombord på satellitter. Relativitetsteoriens forudsigelser vil kunne testes med langt større præcision. Især Lorentz invarians er under luppen, idet visse udvidelser af partikelfysikkens standardmodel forudsiger brud på denne symmetri som følge af partiklers vekselvirkning med hypotetiske universelle felter. Atomfysikere kan også glæde sig til at studere laserkølede atomer i mikrogravitation.

Kilder: AIP Physics News 578, 27. feb 2002, Primary Atomic Reference Clock in Space (PARCS): www.boulder.nist.gov/timefreq/cesium/parcs.htm, physics.indiana.edu/~kostelec/mov.html, Physical Review Letters, 4. marts 2002.

KVANT-nyheder på nettet: www.nbi.dk/dfs/ny/

Kupon til bestilling af Kvant

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

Jeg er ☐ under uddannelse ☐ pensionist

Jeg ønsker

- ☐ abonnement på Kvant (135 kr. pr. år)
☐ medlemsskab af Astronomisk Selskab
☐ medlemsskab af Dansk Fysisk Selskab
☐ medlemsskab af Dansk Geofysisk Forening
☐ medlemsskab af Selskabet for Naturlærers Udbredelse

Du modtager automatisk Kvant, hvis du er medlem af en af de fire foreninger.

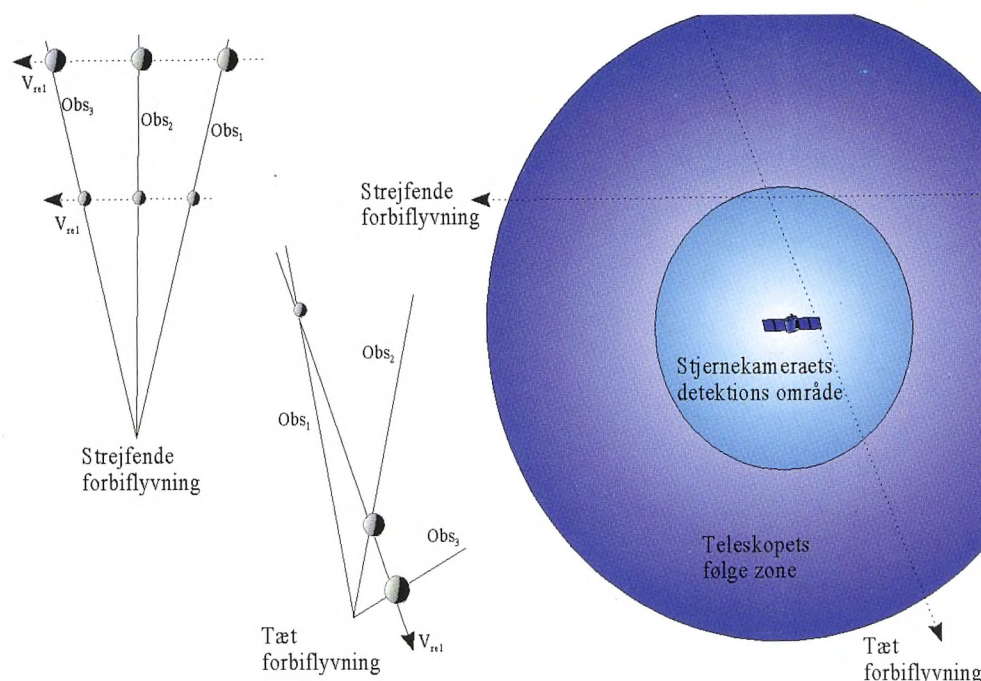


POST

Sendes ufrankeret
 Modtageren
 betaler portoen

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

Danmarks første deep-space mission



Bering

Kvant præsenterede i sidste nummer et forslag til en dansk satellit-mission til asteroide-bæltet, der ligger mellem planeterne Mars og Jupiter. Satellitten kommer til at hedde Bering efter danskeren Vitus Bering, der var en af verdens store opdagelsesrejsende. Bering opdagede i 1728, at Asien og Amerika er adskilte kontinenter, og i 1741 kortlagde han som den første Alaskas vestkyst. Hvor Columbus bandt verden sammen mod vest, gjorde Bering det mod øst.

I dette nummer kan du læse mere om forslaget i artiklen på side 26. Figuren ovenfor viser, at Berings teleskop kan følge asteroiderne længe efter at de er blevet detekteret af stjernekameraerne.

Mere i dette nummer

I efteråret var det 400-årsdagen for en anden af vore berømte landsmænds død, nemlig Tycho Brahes, og

i artiklen "Fra Hven til rummet" ser Erling Poulsen tilbage på baggrunden for Brahes indsats.

Du kan også læse om de første tunge grundstoffer, om femtosekund Røntgen-diffraktion samt om et nyt forsøg på at udlede og beskrive Corioliskraften.

Næste nummer

Næste nummer af Kvant kommer til september, hvor Michael Linden-Vørnle beretter om eftersøgningen efter radio- og lyssignaler fra teknologiske civilisationer i rummet. Denne eftersøgning kaldes under ét for SETI, der er en forkortelse for "Search for Extra Terrestrial Intelligence" – altså eftersøgningen af intelligent ikke-jordisk liv.

Fra vor egen klode skriver Henriette Skourup om satellitaltimetri, som er en metode, der med stor præcision bestemmer jordens højdevariation, mens Christian Bjerrum skriver om fortidens varme klima, hvor havkrokodillerne boltrede sig i vore farvande.