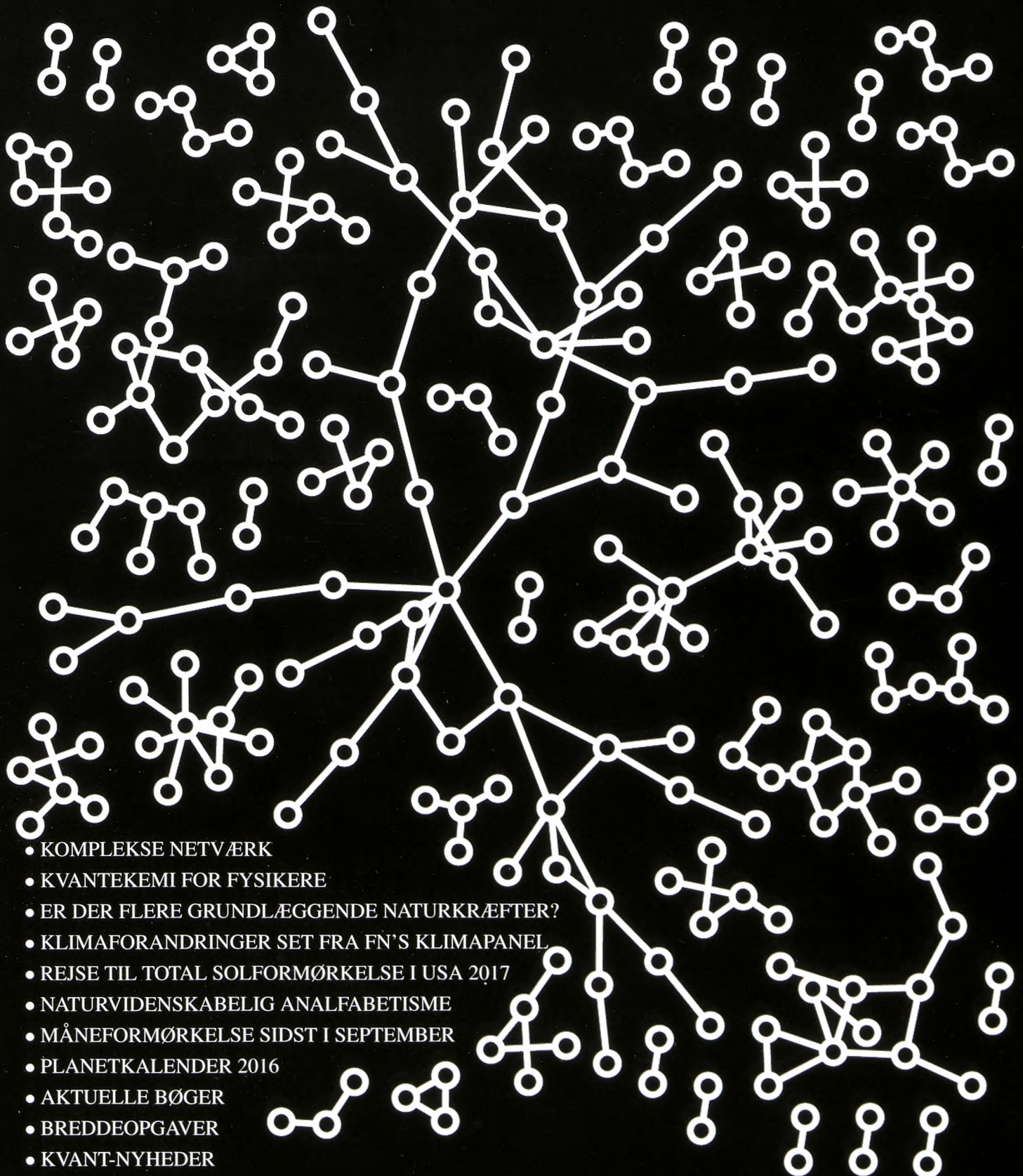


KVANT

September 2015 3

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 26. årgang



- KOMPLEKSE NETVÆRK
- KVANTEKEMI FOR FYSIKERE
- ER DER FLERE GRUNDLÆGGENDE NATURKRÆFTER?
- KLIMAFORANDRINGER SET FRA FN'S KLIMAPANEL
- REJSE TIL TOTAL SOLFORMØRKELSE I USA 2017
- NATURVIDENSKABELIG ANALFABETISME
- MÅNEFORMØRKELSE SIDST I SEPTEMBER
- PLANETKALENDER 2016
- AKTUELLE BØGER
- BREDDEOPGAVER
- KVANT-NYHEDER

Løssalgspris: 50 kr

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

Hjemmeside : www.kvant.dk
E-mail : kvant@kvant.dk
Facebook  : [KVANT.fysiktidsskrift](https://www.facebook.com/KVANT.fysiktidsskrift)
ISSN (trykt) : 0905-8893
ISSN (web) : 2245-4942

Udgives af

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

Redaktion

Michael Cramer Andersen (ansv. red.),
Christianshavns Gymnasium
Mogens Esrom Larsen,
Institut for Matematiske Fag, KU
Steen Lærke (astro@kvant.dk),
Astronomisk Selskab
Sven Munk (nyhedsredaktør)
John Rosendal Nielsen,
Aurehøj Gymnasium
Jens Olaf Pepke Pedersen,
DTU Space
Finn Berg Rasmussen,
Niels Bohr Institutet, KU
Svend Erik Rugh
Torben Westerberg (korrektur)

Abonnementspris : 180 kr/år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Henvendelser vedr. abonnement til Christine Pepke Pedersen: christine@kvant.dk (tlf. 27 51 01 76).

Annoncepriser

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

Priserne er excl. moms og for reproklart materiale i farver. Henvendelser om annoncer til redaktøren på: kvant@kvant.dk (tlf. 22 67 26 42).

Tryk

Vestergaards Bogtrykkeri ApS.
Oplag: 2200.

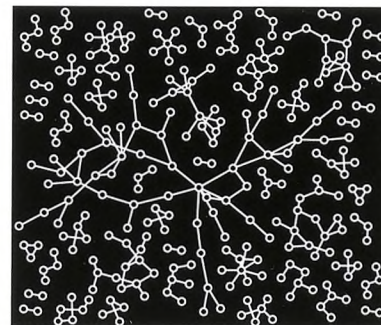
Produktionsplan

Nr. 4-15 udkommer ca. 15. december
Nr. 1-16 udkommer ca. 15. marts
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Komplekse netværk <i>Vedran Sekara og Sune Lehmann</i>	3
Kif Årsmøde den 13. november <i>Mette Marie-Louise Grage</i>	7
Er der flere grundlæggende naturkræfter? <i>Ole Eggers Bjælde</i>	8
Kvantekemi for fysikere <i>Per Hedegård</i>	12
Naturvidenskabelig analfabetisme <i>Jens Olaf Pepke Pedersen</i>	16
Planetkalender for København 2016 <i>Martin Götz</i>	18
Foreningsnyt – foredrag i efteråret 2015	19
KVANT-nyheder <i>Sven Munk og Michael Cramer Andersen</i>	20
Klimaforandringer set gennem FN's klimapanel 5. hovedrapport <i>Jens Hesselbjerg Christensen</i>	23
Lineal på pegefingre – breddeopgave 66 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	30
KVANT søger nye redaktører (annonce)	31
Aktuelle bøger <i>Anja Skaar Jacobsen og Michael Cramer Andersen</i>	32
Måneformørkelse sidst i september <i>Michael Quaade</i>	34
Rejse til den totale solformørkelse i USA 2017 <i>Knud Strandbæk</i>	35
Rejse til den totale solformørkelse i USA 2017 <i>Knud Strandbæk</i>	Bagsiden

Billedet på forsiden viser et socialt netværk af indbyrdes telefonopkald blandt ca. 300 DTU-studerende. Dataene er indsamlet som en del af *The Copenhagen Networks Study*, som er beskrevet i artiklen "Komplekse netværk".



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

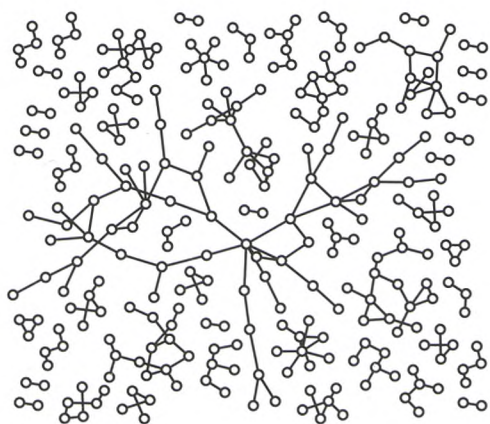
Komplekse netværk

Af Vedran Sekara, DTU Compute, Danmarks Tekniske Universitet og Sune Lehmann, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet og DTU Compute, Danmarks Tekniske Universitet

Vi er omgivet af netværk. Vores sociale forbindelse danner forskellige netværk: netværk af venner, kolleger, familier, eller seksuelle partnere. Vi kommunikerer via et væld af teknologiske netværk: vi kan ringe til hinanden, sende emails, skrive til hinanden via *Facebook*, eller sende *Snaps*. Infrastruktur-netværk leverer el, vand og varme til vores hjem, mens vi bevæger os på transportnetværk som fx motorveje, busser, toge, eller fly. Vores biologi er også reguleret af netværk – fx regulerer vores gener hinanden i et komplekst netværk – så når et menneske får kræft, kan det skyldes en ubalance i gen-regulations netværket. Givet den centrale rolle som netværk spiller henover hele vores verden, er forståelsen og en matematisk beskrivelse af netværk en af det 21. århundredes vigtigste intellektuelle og videnskabelige udfordringer.

Introduktion

Bag hvert komplekst system kan vi tegne et diagram, der definerer samspillet mellem de forskellige komponenter. Vi kalder dette diagram for et netværk. Netværk består af to grundelementer, *knudepunkter* (som vi nogle gange kalder *noder*) og links (som også kaldes *forbindelser*, *interaktioner* eller *kanter* afhængig af den videnskabelige disciplin). Knudepunkterne bruger vi til at repræsentere systemets elementer: fx hjemmesider, personer eller byer. Links repræsenterer systemets vekselvirkninger, så vi forbinder to knudepunkter via et link, hvis de deler en relation. Så to hjemmesider er forbundne, hvis den ene side indeholder et hyperlink til den anden, to personer er forbundne hvis personerne er venner, og vi kan tegne et link mellem to byer, hvis fx man kan flyve fra den ene til den anden (se figur 1). Links kan være retningsbestemte, afhængigt af relationen mellem to knudepunkter; fx hvis person A sender en besked til person B, siger vi, at forbindelsen mellem A og B har en retning (linket peger fra A til B), men hvis A og B derimod er venner på Facebook er retningen på linket uvæsentlig – eftersom Facebookvenskaber er gensidige per definition.



Figur 1. Eksempel på et netværk. Hver knudepunkt (cirkel) repræsenterer en person, mens linjerne mellem personerne kaldes for links. Netværket viser ca. 300 DTU-studerendes indbyrdes telefonopkald over to uger.

Styrken ved netværk er, at de afspejler et systems struktur. De er et matematisk begrebsapparat, der lader

os bruge samme type matematik til at beskrive vidt forskellige fænomener. I princippet betyder dette, at vi kan anvende de samme værktøjer, uanset om vi studerer sociale relationer mellem mennesker eller kemiske forbindelser (fx signalstoffer) mellem gener i kroppen. Sagt anderledes er et netværk et udtryk for et systems rå struktur, der giver os et matematisk sprog, hvor vi kan sammenligne vidt forskellige systemer.

Netværk som matematisk begreb har eksisteret siden 1700-tallet, hvor Leonhard Euler ifølge legenden opfandt graf-teorien til at løse en berømt gåde om gåture på Königsbergs syv broer. Siden den gang har netværk slået dybe rødder indenfor traditionelle videnskabelige felter som matematik, biologi, datalogi og sociologi. Men det er først i det 21. århundrede, at feltet har udviklet sig til en selvstændig videnskab. Denne udvikling faldt sammen med en øget interesse for netværk fra en højst uventet kant, nemlig fra statistisk fysik. Da dette også er vores perspektiv, vil vi fortrinsvis fokusere på fysikernes rolle indenfor netværksvidenskaben i denne artikel.

Indenfor fysikken er historien om netværk drevet af en søgen efter forståelse af struktur og dynamik. Derfor er et naturligt sted at starte for en fysiker en meget simpel model. Den mest forsimplede model af et empirisk ('*real-world*') netværk vi kan forestille os, er et *random* (tilfældigt) netværk bestående af n tilfældigt forbundne knudepunkter. Med '*random*' mener vi, at hvert par af knudepunkter er forbundet med en sandsynlighed p , hvor p er et tal mellem 0 og 1. Allerede ud fra disse simple definitioner, kan vi begynde at beskrive strukturen af dette netværk – systemet for, hvordan de forskellige knuder er forbundne. Et meget simpelt mål for strukturen er antallet af naboer, k , også kaldt knudepunktets *degree*. Givet vores definition ovenfor kan vi se, at den gennemsnitlige degree i et *random* netværk er $\langle k \rangle = np$.

Men alle knudepunkter har selvfølgelig ikke præcis np forbindelser. På grund af stokastiske fluktuationer er der en sandsynlighedsfordeling $P(k)$ over for, hvor mange forbindelser hvert knudepunkt har, hvor $P(k)$ betegner sandsynligheden for, at et tilfældigt udvalgt knudepunkt har præcis k forbindelser. Vi kalder $P(k)$ for en *degree-fordeling*. I et stort, *random* netværk kan vi regne os frem til, at fordelingen af antallet af naboer

følger en Poisson-fordeling

$$P(k) = \frac{\langle k \rangle^k}{k!} e^{-\langle k \rangle}. \quad (1)$$

Når $\langle k \rangle$ er stor, kan (1) approksimeres med en normal-fordeling. *Degree*-fordelingen er et mål for struktur i netværk, og har vist sig at give interessante indsigter i mange empiriske netværk. I sociale netværk ved vi, at mennesker kan have vidt forskellige antal venner – hypersociale personer kan have hundredevis af aktive bekendtskaber, mens andre nøjes med nogle få tætte venskaber.

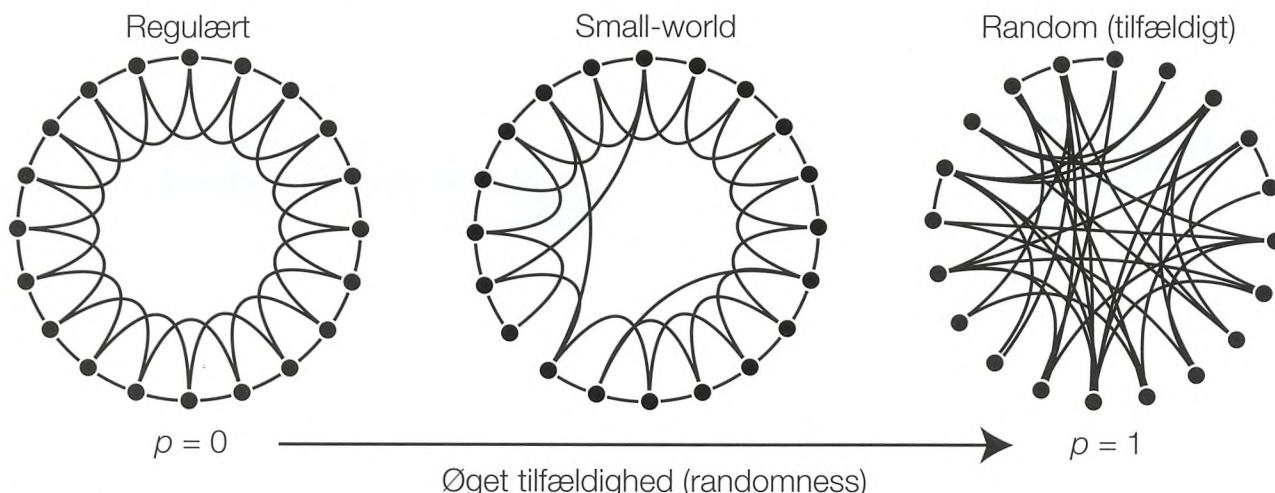
Moderne netværksvidenskab fødes

Som sagt handler historien om moderne netværksvidenskab på mange måder om, hvordan videnskabsfolk gradvist har afdækket, hvor ikke-tilfældigt de netværk, som vi observerer ude i verden, er struktureret. En begyndende erkendelse af, at *random* netværk er en alt for simpel model til at beskrive empiriske netværk, opstod i en artikel af Watts og Strogatz, der blev udgivet i det prestigefyldte tidsskrift *Nature* i 1998 [1]. Watts og Strogatz forsøger i deres banebrydende artikel at skabe en model, der forener to fundamentale observationer om netværk.

Den første observation er, at mange empiriske netværk har høj *clustering* (eller klyngedannelse). *Clustering* er let at forklare ud fra sociale netværk. Begrebet

udtrykker, at hvis jeg har to venner, så er der en høj sandsynlighed for, at de to personer også er venner med hinanden. Mere generelt handler *clustering* om, hvordan et knudepunkts naboer er indbyrdes forbundne – dvs. om brøkdelen af trekanter i netværket. Empirisk set kan *clustering* observeres i en bred vifte af netværk, ikke kun de sociale. De *random* netværk som vi diskuterede ovenfor udviser dog typisk meget lav *clustering*, da deres definition ikke fremmer dannelsen af trekanter.

Den anden observation stammer fra et fascinerende eksperiment, som socialpsykologen Stanley Milgram udførte i 1967 [2]. I sit udspekulerede eksperiment viste Milgram, at den gennemsnitlige afstand mellem to individer i det menneskelige sociale netværk er overraskende kort. Milgram kom til dette resultat ved at uddele en række breve til en gruppe personer i ‘verdens ende’ (*Omaha, Nebraska*, ifølge Milgram) adresseret til en af Milgrams bekendte. Milgrams ven var advokat og boede i *Boston, Massachusetts*, som Milgram (der på det tidspunkt var ansat på Harvard) mente var ‘verdens centrum’. Tricket var, at hver deltager skulle guide brevet gennem det sociale netværk ved at give det videre til en person som hun/han kendte på fornavnsbasis. Ved at registrere alle skridt på brevenes vej viste Milgram, at afstanden fra Nebraska til Massachusetts kun var 6 hop i netværket, hvilket ledte til den populære betegnelse: “*six degrees of separation*”. Vi kalder netværk som har denne egenskab (korte stier mellem alle knudepunkter) for “small-world” netværk (se figur 2).



Figur 2. Watts og Strogatz’ small-world netværk model. Kan det være, at komplekse netværk ligger på grænsen mellem det fuldstændigt ordnede netværk – eksemplificeret ved det regulære 1-dimensionale gitter til venstre – og det helt tilfældigt forbundne netværk til højre? Det viser sig, at et gitter med ganske få tilfældige forbindelser har både høj *clustering* og *small-world* egenskaber.

Ved første øjekast kunne man godt forestille sig, at *random* netværk havde *small-world* egenskaber. Lad os forestille os, at jeg er et knudepunkt i et *random* netværk med 100 venner. Hvis nu hver af mine venner også har 100 venner er vi allerede oppe på $100^2 = 10.000$ personer efter to hop i mit netværk. Går vi tre skridt i netværket finder vi $100^3 = 1.000.000$ knudepunkter – og efter seks hop i et *random* netværk med en gennemsnitlig degree $\langle k \rangle = 100$ er vi oppe på 10^{12} , ca. 150 gange mere end Jordens befolkning. Men der er selvfølgelig et hul i dette argument, og problemet

er *clustering*. Mange af mine venner er jo venner med hinanden, så i eksemplet ovenfor er der ikke 10.000 nye personer efter to hop i netværket. Dette betyder, at *clustering* forklarer, hvorfor *random* netværk ikke kan bruges som en model for mange virkelige systemer.

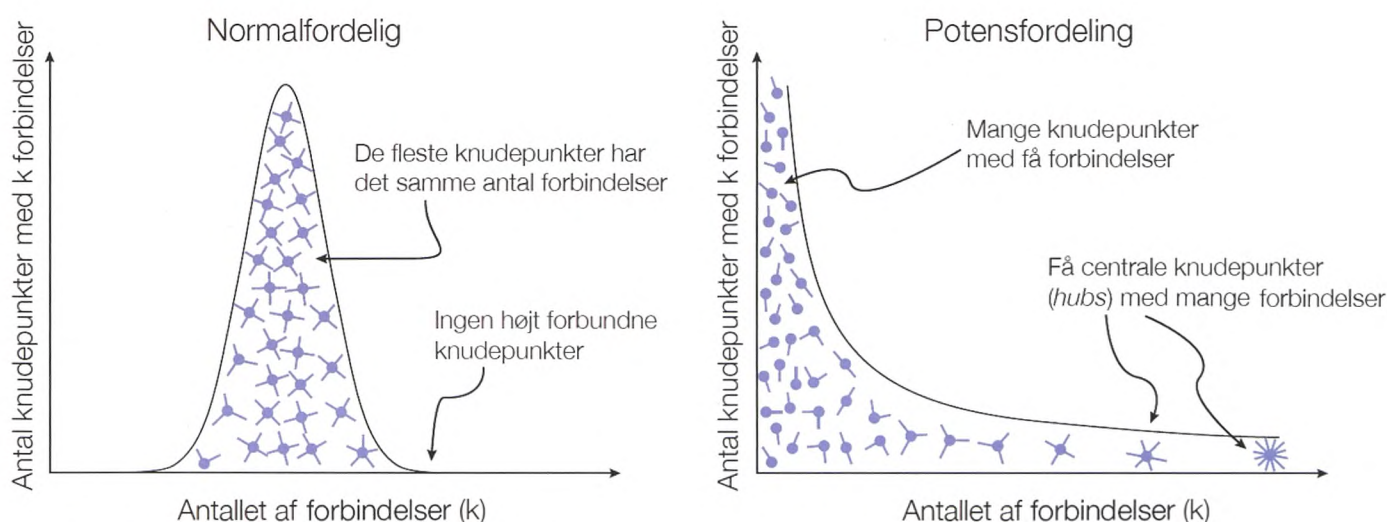
Watts og Stogatz foreslog i stedet en ny model, der sigter efter at forene høj *clustering* med *small-world* egenskaben. Deres model udspringer af et meget simpelt netværk, et cirkulært gitter, hvor alle knuder har præcis k nærmeste naboer (se figur 2 helt til venstre). Dette gitter har høj *clustering* på grund af de mange

forbindelser til naboerne. Men medmindre k er meget stor, i forhold til antallet af knudepunkter i netværket, kræver det mange skridt for at nå fra den ene side af netværket til den anden, dvs. det er ikke et *small-world* netværk.

Man kan nu tilføje tilfældighed til dette gitter ved at tilføje lidt støj og forbinde en brøkdel p af netværkets links tilfældigt. Hvis $p = 0$ har vi vores regulære gitter (figur 2, til venstre), og hvis $p = 1$ er netværket helt tilfældigt forbundet; vi genfinder altså det gode gamle *random* netværk (figur 2, til højre). Det spændende ved denne model er, at hvis bare p er en lille smule større end nul, så fungerer de tilfældige links som genveje – og stierne blive dramatisk kortere (figur 2, i midten). Den fysiske fortolkning af denne model er klar: Vi interagerer til dagligt med en meget sammentømret klike, men samtidig har vi også fjerne links med barndomsvenner

eller andre bekendtskaber med personer, som vi fx har mødt på andre tidspunkter i vores liv. De tætte links bidrager til høj *clustering*, mens de fjerne bekendtskaber sænker afstanden i netværket.

Small-world modellen, som Watts og Strogatz foreslog, er simpel og intuitiv, men den gør ikke rede for en vigtig egenskab, som vi finder igen og igen i empiriske netværk. I *small-world* modellen er *degree*-fordelingen nemlig lig med et fast k givet ved definitionen af gitteret (eller en Poisson-fordeling afhængig af, hvordan vi tilføjer støj til netværket). Men denne *degree*-fordeling svarer ikke til, hvad vi ser ude i verden. Dette blev påpeget året efter, i 1999, hvor Albert og Barabási viste at *degree*-fordelingen i en bred vifte af empiriske netværk følger en potens-fordeling $P(k) \propto k^{-\gamma}$, hvor γ typisk har værdier mellem 2 og 3 [3]. Forskellen mellem de to fordelinger er illustreret i figur 3.



Figur 3. Albert og Barabásis opdagelse belyste vigtigheden af *hubs*, højt forbundne knudepunkter i halen af potensfordelingen. De to *degree* fordelinger er fundamentalt forskellige. I potensfordelinger er ekstremt forbundne knuder meget mere sandsynlige.

En potensfordeling over *degrees* har den fortolkning, at de fleste knudepunkter har et relativt lavt antal links, mens nogle få centrale *hubs* kan være forbundet til flere hundrede, tusinder, eller endda millioner af andre knudepunkter. Tilstedeværelsen af *hubs* har en gennemgribende indflydelse på strukturen af netværk. For eksempel var Watts og Strogatz nødt til eksplicit at indbygge *small-world* effekten i deres model, mens denne egenskab optræder spontant i mange netværk, der kan beskrives ved potens-fordelinger – her fungerer *hubs* som langtrækkende forbindelser. Forekomsten af *hubs* betyder også, at vigtige dynamiske processer, der udspiller sig på netværk, fx spredningen af sygdomme, computer-vira, eller rygter og informationer, spredt sig fundamentalt anderledes, end hvad vi ser, når vi modellerer disse via *random* netværk.

Netværk i det 21. århundrede

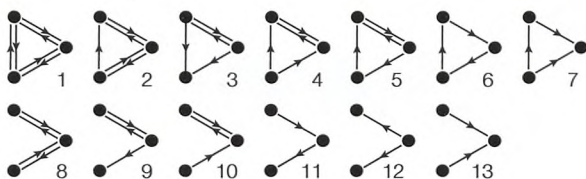
Albert og Barabásis opdagelse markerede begyndelsen på den moderne netværks-videnskab og medførte en hektisk aktivitet. Feltet tiltrak nemlig en stor gruppe af statistiske fysikere på jagt efter nye teoretiske

udfordringer. Dette skyldes potenslovenes dybe forbindelse til kritiske eksponenter, skala-invarians, og universalitets-klasser, som havde åbnet et nyt niveau af forståelse indenfor den statistiske fysik nogle år tidligere. Rejsen har hele tiden været hen imod at forstå strukturen i empiriske netværk, og alle steder blev der nu fundet ikke-tilfældige mønstre.

Efter fundet af den store uligevægt i fordelingen af forbindelser (*degree*) var det et logisk næste skridt at se på *degree*-korrelationer mellem knudepunkter [4]. Er højt forbundne knuder altid forbundet til andre stærkt tilsluttede knuder, eller er det omvendt? Det viser sig, at det afhænger af netværket. I biologiske netværk er der fx en tendens til, at knudepunkter med høj *degree* er forbundet med knudepunkter med lav *degree*, mens det i sociale og teknologiske netværk typisk er anderledes. I sådanne netværk er der en tendens til, at knudepunkter forbinder sig til knuder med tilsvarende *degree*, dvs. vi finder høj-høj og lav-lav forbindelser. Det betyder, at mennesker er mere tilbøjelige til at forme venskaber med personer, der minder om dem selv. *Degree*-korrelationer er interessante fordi to netværk sagtens

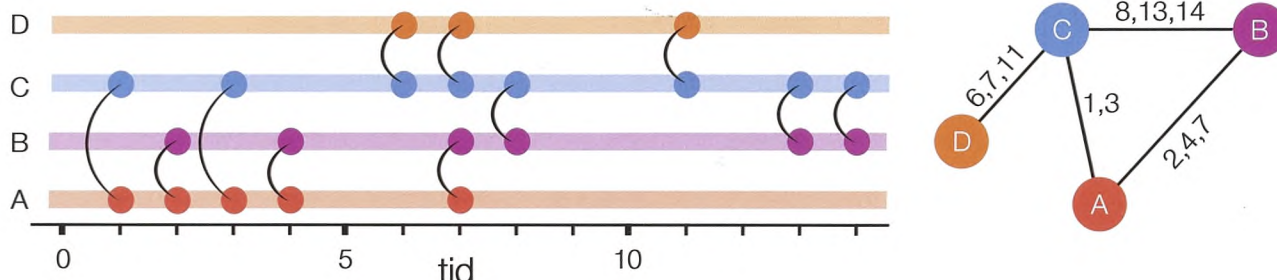
kan have ens *degree*-fordelinger – men, afhængig af deres *degree-degree* korrelationer, kan processerne, der udspringer sig på netværket, have helt forskellige udfald.

Vi kan nu gå videre og undersøge, hvordan netværket i sig selv er bygget op. Her kan vi undersøge en vigtig type struktur, *motiver*, der er små sub-netværk, som består af et lille antal knudepunkter [5]. Vi kan tænke på motiver som netværkets byggesten. Trekanten i *clustering* er et godt eksempel på sådan et motiv, men dette fænomen kan formuleres mere generelt. I et netværk, hvor retningen på linket spiller en vigtig rolle, er der 13 typer af 3-knude motiver (se figur 4). Man kan også studere forekomsten af motiver, der indeholder flere end tre knudepunkter. Milo *et al.* viste, at nogle motiver er undertrykte, dvs. de opstår mindre hyppigt end hvad man skulle forvente, hvis netværket var tilfældigt forbundet, mens andre konfigurationer opstår langt hyppigere, end man skulle forvente. Motiverne viser hvilke processer, der er på spil når netværk opstår, og de afspejler netværkets funktion. Ligesom med *degree*-korrelationerne er de vigtige motiver forskellige fra netværk til netværk, men ligheder i motiv-forekomsten kan afsløre interessante forbindelser mellem forskellige netværk.



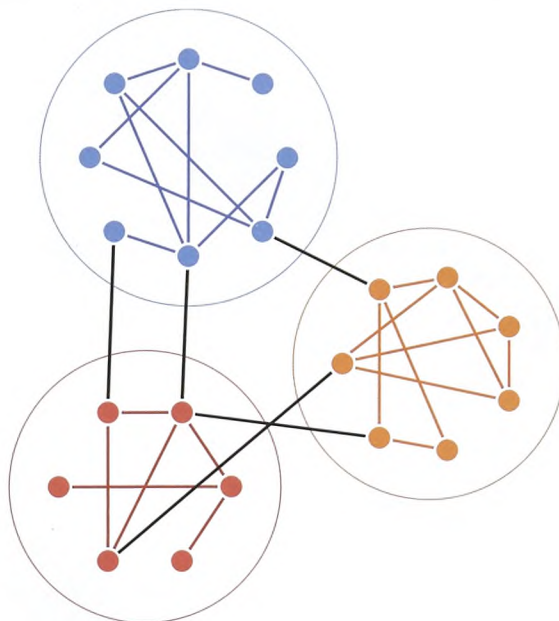
Figur 4. De 13 måder at tre knuder kan være forbundet til hinanden på i et rettet netværk. Der findes 199 typer motiver af størrelse fire, osv. Pilene på hvert link indikerer retningen på interaktionen.

Hvis vi zoomer ud og leder efter netværksstrukturer, som er større end motiverne, finder vi, at knudepunkter ofte har en tendens til at danne klynger, der er forbundne internt men svagt forbundne til resten af netværket [6]. Disse strukturer kalder vi for *communities* eller grupper (se figur 5). Denne tendens er måske ikke overraskende for en person indlejret i et socialt netværk. Vi interagerer alle til dagligt i grupper, som kan være opdelt efter kriterier som fx familie, alder, interesser, beskæftigelse, etnicitet, osv. *Communities* opstår ikke kun i sociale netværk. Nogle eksempler er grupper af hjemmesider, der beskæftiger sig med relaterede emner, eller klynger af proteiner, der udfører lignende funktioner i en celle.



Figur 6. Dynamisk netværk for fire knudepunkter og deres indbyrdes interaktioner. Til venstre ses kontakt-sekvensen blandt de fire knuder, mens netværket er tegnet til højre.

Yderligere så behøver *communities* ikke nødvendigvis at være helt adskilt som på figur 5, men kan have et vist overlap eller være fuldstændig hierarkisk indlejret i hinanden, hvilket kan gøre dem vanskelige at identificere [7].



Figur 5. *Communities* (eller grupper) i komplekse netværk. Hver gruppe har flere interne end eksterne forbindelser.

Hidtil har vi fokuseret på netværk som statiske strukturer, men den nyeste forskning tager højde for, at netværk i høj grad er dynamiske – de ændrer sig henover tid. Vi ved jo godt, at nye venskaber opstår og gamle forgår, gamle hjemmesider lukker ned og nye kommer frem, faktisk er alle netværk under en konstant udvikling. For at forstå disse dynamiske netværk kræver det, at vi udvikler nye statistiske redskaber, samt genovervejer mange af de tidligere fundamentale opdagelser. Links forsvinder og opstår, dette påvirker fx *degree*-fordelinger, som får tilført en tidsafhængig komponent. *Clustering* bliver ligeledes påvirket. Yderligere, betyder dynamiske netværk, at vi skal gentænke fundamentale begreber som *stier* på netværk. For at der kan findes en sti mellem knude A og D (se figur 6), kræves der en ordnet sekvens af fortløbende aktiveringer af links således, at link $A \rightarrow C$ opstår før $C \rightarrow D$. Dette betyder også, at dynamiske netværk ikke nødvendigvis er transitive, dvs. der kan godt gå en sti fra A til D men ikke fra D til A.

Nye tendenser indenfor netværksvidenskaben

Alle vores vekselvirkninger med computere bliver indsamlet og gemt i store centrale databaser. Hvert opkald, email, kreditkort-transaktion, Snap, Tweet, 'Like' på Facebook, klik på Netflix, og geografiske check-ins på diverse tjenester bliver registreret. Desuden indsamler offentlige instanser omfattende statistik vedrørende sundhedspleje, offentlige udgifter og kriminalitet. Vores liv bliver med andre ord registreret i historisk set uhørt omfattende grad, og mængden af information, der indsamles ventes kun at stige i fremtiden. Disse datamængder rejser helt nye problemer for privatlivets fred og talefrihed, men samtidig giver de forskere nogle enestående muligheder for at forstå vores samfund, menneskelig adfærd samt det underliggende sociale netværk [8].

Lige nu finder et af verdens største netværksforsøg sted på DTUs campus. Her har 1000 studerende fået udleveret gratis smartphones mod, at forskere får indsigt i deres daglige færden. Projektet, *The Copenhagen Network Study*, går ud på at kortlægge menneskelig adfærd på tværs af de mange netværk vi deltager i – fra ansigt-til-ansigt til telekommunikation og Facebook, kombineret med geografiske spor og personlighedsprofiler. Vi ønsker at forstå hvordan disse *multiplekse* netværk kan beskrives matematisk, hvordan de udvikler sig henover tid, og hvordan deres forandringer påvirker dynamiske processer (fx epidemier, indflydelse, eller rygtespredning), som udfolder sig henover de mange netværk. Samtidig handler projektet om at belyse og forstå de fundamentale problematikker vedrørende privatlivets fred.

Netværk er kommet for at blive. Når man først får øje på dem, er netværk alle vegne – og komplekse netværk har eksisteret siden livets begyndelse. Forskellen er, at henover de sidste 10-15 år, har vi som noget helt nyt fået adgang til data, der beskriver netværkenes komplekse og ikke-trivielle strukturer og dynamikker. Det betyder, at selvom det snart er 300 år siden, at Euler lagde fundamentet for netværksvidenskaben, er netværksvidenskaben langt fra modnet og støvet. Der er stadig masser af saftige, uløste problemer at tage fat på – og det er præcis dét, som gør vores arbejde fantastisk spændende.

Litteratur

- [1] Watts, D.J. and Strogatz, S.H. (1998), Collective dynamics of "small-world" networks. *Nature*, **393**:440.
- [2] Milgram, S. (1967), The small world problem. *Psychology Today*, **2**:60.
- [3] Barabási, A.-L. and Albert, R. (1999), Emergence of scaling in random networks. *Science*, **286**:509.
- [4] Maslov, S. and Sneppen, K. (2002). Specificity and stability in topology of protein networks. *Science*, **296**:910.
- [5] Milo, R. et al. (2002), Network motifs: Simple building blocks of complex networks. *Science*, **298**:824.
- [6] Girvan, M. and Newman, M. E. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **99**:12.

- [7] Ahn, Y., Bagrow, J., and Lehmann, S. (2010). Link communities reveal multiscale complexity in networks. *Nature*, **466**(7307).
- [8] Lazer, D. et al. (2009). Computational social science. *Science*, **323**:5915.



Sune Lehmann er lektor ved DTU Compute og adjungeret lektor ved Niels Bohr Institutet.



Vedran Sekara er ph.d. fra DTU Compute, Danmarks Tekniske Universitet og nu Data Scientist hos Sony.

Kif årsmøde den 13. november 2015

Netværk for Kvinder i fysik (Kif) holder årsmøde den 13. november 2015 på Aarhus Universitet.

Programmet fokuserer på fastholdelse af kvinder indenfor forskning, med foredrag af professor Tine Jess, dr.med., fra *Taskforcen for Flere Kvinder i Forskning*, professor Meg Urry, Yale University og American Astronomical Society samt repræsentanter fra forskningsfonde.

Mødet varer fra kl. 10:30 til 17:30 og efterfølges af generalforsamling, hvor der vil være et forslag til afstemning om at åbne bestyrelsen for mandlige medlemmer samt kvinder der ikke har hovedfag i fysikrelaterede fag.

Til mødet vil årets Kif-prisvinder blive annonceret. Opslaget ses på Kifs hjemmeside: www.kif.nbi.dk.

Registrering til Kifs årsmøde foregår via link på Kifs hjemmeside (www.kif.nbi.dk). Sørg for at tage kolleger og studerende eller medstuderende med!

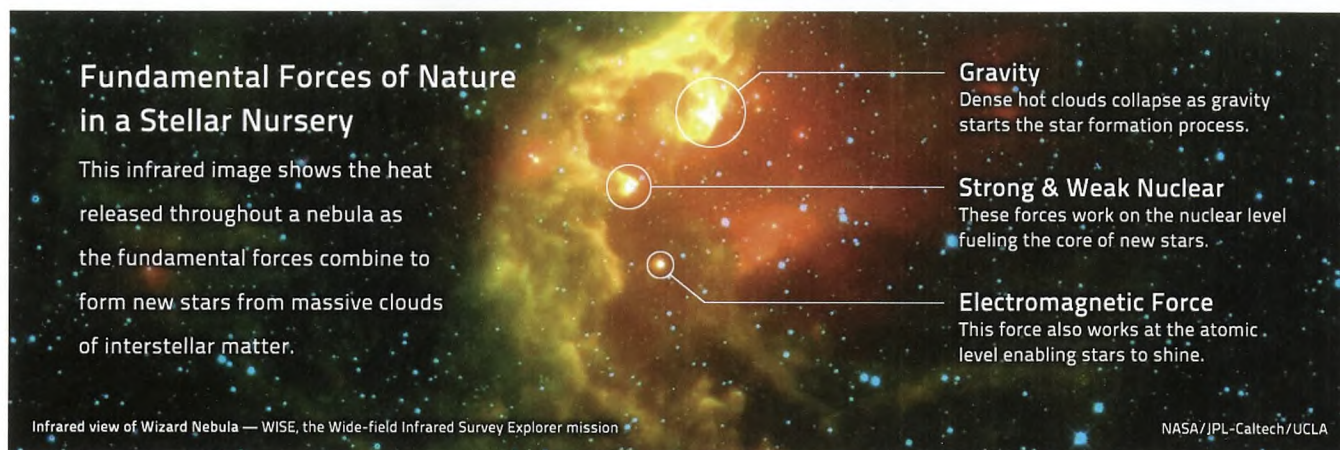
Er der flere grundlæggende naturkræfter?

Af Ole Eggers Bjælde, Center for Scienceuddannelse, Aarhus Universitet

Kun fire grundlæggende naturkræfter styrer alle fænomener og hændelser i Universet ifølge den gængse opfattelse af naturen. Men kan vi nu være sikre på det? Svaret er måske.

At kun fire grundlæggende naturkræfter styrer hele Universet er dybest set en utrolig påstand. Man kan altså sige, at alt fra vores tanker i hjernen til Solens

bevægelse i Mælkevejen er styret af fire kræfter. Og de to af kræfterne virker endda kun over så korte afstande, at de (for det meste) er ubetydelige for os mennesker.



Figur 1. De fire grundlæggende naturkræfter er tilsammen ansvarlige for lyset fra nydannede stjerner i NGC 7380 Wizarð Nebula. Tyngdekraften får gasskyer til at trække sig sammen og derved starte stjernedannelsesprocessen. Kernekræfterne tager sig af fusion, hvorved de nydannede stjerner kan producere energi. Elektromagnetismen sørger for, at den producerede energi får stjernerne til at lyse. Grafik: NASA [1].

De fire grundlæggende kræfter er henholdsvis *den svage kernekraft, den stærke kernekraft, elektromagnetismen og tyngdekraften*, se dem i aktion på figur 1. Den lettest genkendelige kraft er tyngdekraften, som vi fx kæmper imod, når vi cykler op ad bakke. Elektromagnetismen er ligeledes en kraft, vi møder hele tiden i hverdagen; eksempelvis når vi bruger en mobiltelefon, eller når vi lukker en dør, eller når neuroner i vores hjerne sender signaler, som får os til at gabe, osv. Stort set alle fænomener, vi møder, og som ikke direkte relaterer til tyngdekraften, skyldes elektromagnetismen. Den stærke og den svage kernekraft møder vi derimod ikke ofte. Den stærke kraft holder ”pygmæ”-partikler i form af kvarker sammen i lidt-større-men-stadig-mikroskopiske (og ekstremt almindelige) partikler som protoner og neutroner. Den svage kraft er ansvarlig for, at en isoleret neutron vil henfalde til en proton og andre partikler, samt andre kerneprocesser, der bl.a. er en nødvendighed for, at Solen kan skinne. En populærvidenskabelig gennemgang af de fire naturkræfter kan bl.a. ses i videoen [2].

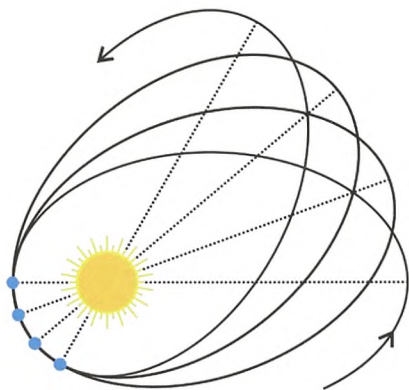
Universet ser tilsyneladende ud til, at kunne beskrives relativt simpelt – i hvert fald hvad angår naturkræfterne. For os mennesker er det i og for sig rart nok – der er meget andet at bekymre sig om. Nobelpristageren i fysik, Abdus Salam, formulerede det sådan: ”Fra tidernes morgen har mennesket ønsket at forstå

naturens kompleksitet med så få begreber som muligt”. Så hvorfor overhovedet interessere sig for spørgsmålet, om der findes flere naturkræfter? Svaret er: På grund af anomalier.

Anomalier

En anomalie er en observation, som ikke umiddelbart passer ind i den gængse forståelse af naturen. At Herfølge Boldklub fx kunne vinde det danske mesterskab i fodbold i 2000 er et godt eksempel på en anomalie. Den slags møder vi også masser af i Universet.

Et godt eksempel fra historien er Merkurs bane om Solen. Alle planeternes baner er svagt elliptiske, og de elliptiske baner flytter sig gradvist for hver omgang, se figur 2. Denne bevægelse kaldes præcession og kan forklares ved hjælp af Newtons bevægelsesligninger fra 1687. Observationer af datidens astronomer bekræftede, at alle kendte planeter adlød bevægelsesligningerne – alle på nær én. Merkurs elliptiske bane præcesserede hurtigere rundt end forventet. 93 % af Merkurs præcession kunne forklares, men ingen kunne forklare de sidste 7 %. Astronomerne regnede med, at de måtte have overset noget (= en planet), hvilket ikke var en urimelig antagelse, da Neptun netop blev opdaget på grund af dens regulære påvirkning af Uranus’ bane. Den usynlige planet, som påvirkede Merkurs bane, fik det potente navn ”Vulcan”.



Figur 2. En planet bevæger sig omkring Solen, men punktet i banen (blå pletter), hvor planeten er nærmest Solen (perihelion) flytter sig for hvert omløb. Det kaldes præcession og finder sted for alle planeter i Solsystemet (Wikipedia).

Men Vulcan blev aldrig fundet, og der skulle en Albert Einstein til at løse gåden. Der hvor astronomerne tog fejl var, at de ledte efter planeter. Einstein viste, at de i stedet skulle have kigget på rummet selv – for ifølge Einsteins generelle relativitetsteori krummer rummet på grund af eksistensen af masse i Universet. Og jo mere masse jo mere krumning. For Merkur, som er planeten tættest på Solen, betyder det, at den oplever en vældig mængde krumning på grund af Solens masse – og det påvirker banen i en grad, som får den til at præcessere lidt hurtigere end ellers. Og størrelsen af den ekstra præcession var netop de 7 %, som manglede.

Igenom de senere år har flere andre anomalier i Solsystemet bidraget til lignende spekulationer – med mere eller mindre (især mindre) sandsynlige forklaringer. Den mest omtalte er den såkaldte Pioneer-anomali, som stammer fra de to rumsonder Pioneer 10 & 11, som tilsyneladende bevægede sig langsomt væk fra Solen, end Newtons bevægelsesligninger forudsagde. Anomalien vedblev at være en gåde i 32 år(!), indtil beregninger af varmestråling fra en strømgenerator ombord på Pioneer-rumsonderne i retning væk fra Solen viste sig at være forklaringen [3], se figur 3.



Figur 3. Tegning af Pioneer 10 foran Jupiter. Bemærk strømgeneratoren for enden af den arm, som peger mod Jupiter (NASA).

Der findes (heldigvis) også idag mindst en anomali i Solsystemet, som ikke har fundet en forklaring endnu – den såkaldte *Flyby*-anomali. Den stammer fra en af denne forfatters yndlingsfysikeffekter, nemlig "slangebøsseffekten" (eller "gravity assist"). Det er en effekt, som kan udnyttes af rumsonder i Solsystemet,

således at de ved at flyve tæt forbi en planet kan opnå en kraftig forøgelse af deres fart – se figur 4.



Figur 4. Slangebøsseffekten blev udnyttet flere gange for Rosetta-satellitten (oversat fra Daily Telegraph).

Fartgevinsten ved slangebøsseffekten kan beregnes ud fra følgende tankeeksperiment: Du står ved siden af nogle togskiner og kaster en bold med 20 km/t mod fronten af et tog, som kører imod dig med 100 km/t. Togføreren ser altså bolden komme med 120 km/t imod sig. Han ser ligeledes bolden ramme fronten på toget og reflektere tilbage med samme fart. Altså 120 km/t væk fra toget. For dig ved siden af toget ser du nu bolden flyve imod dig med en fart, som er 120 km/t hurtigere end togets, dvs. bolden flyver nu 220 km/t. Du har altså vundet 200 km/t i forhold til den hastighed, du kastede bolden med.

Rumsonderne kan på samme vis vinde den dobbelte hastighed af planeterne, som de bevæger sig tæt forbi. Slangebøsseffekten har været udnyttet ved mange rummissioner, men flere gange er der sket det underlige, at rumsonderne har vundet mere end den dobbelte planethastighed. Det er sket for satellitterne Galileo (vandt 4 mm/s ekstra), NEAR (13 mm/s), Cassini (1 mm/s) og Rosetta (2 mm/s), hvilket ingen har fundet en god forklaring på... endnu.

Mange andre uløste anomalier kan hives frem [4], men en særlig anomali var så overraskende, at den kostede en nobelpris af sig i 2011, nemlig Universets accelererede udvidelse ud fra observationer af supernovaer – se [5]. Den fysiske mekanisme bag udvidelsen er endnu ikke kendt, omend den mest populære forklaring er den allestedsnærværende mørke energi. Men her kan en mulig ændring i de fundamentale naturkræfter også komme på tale.

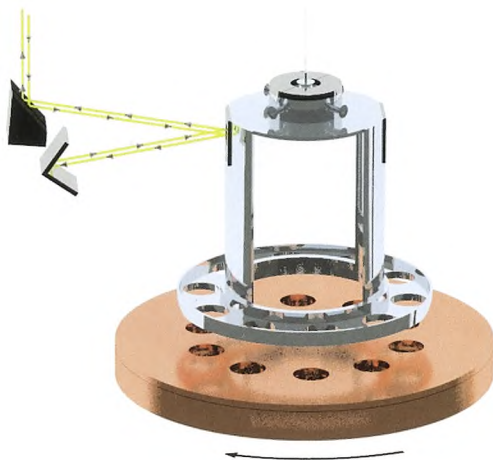
Hvordan kan vi måle ekstra naturkræfter?

Det første man skal gøre, hvis man er en (gal) forsker og gerne vil opfinde en ny naturkraft, er at specificere tre ting:

- Hvor stærk er kraften – er den svag som tyngdekraften eller stærk som elektromagnetismen?
- Hvilke partikler virker den nye kraft på – er det alle partikler som tyngdekraften eller kun fx ladede partikler som elektromagnetismen?
- Rækkevidden af kraften – er den uendelig som tyngdekraften og elektromagnetismen eller kort som kernekræfterne?

Og her kan vi allerede tillade os at kloge os på eventuelle nye kræfter. Først og fremmest, hvis der vitterlig findes andre naturkræfter i Universet til at forklare en eller flere anomalier, må de være utroligt svage – ellers ville vi have opdaget dem for længe siden andre steder i Universet. For det andet, hvis den skal kunne forklare anomalierne, er det mest sandsynlige, at det er en kraft, som virker på alle partikler. Endelig er det mest sandsynligt, at eventuelle nye kræfter kun er effektive over enten meget store afstande à la tyngdekraften eller over meget små afstande. Igen – ellers havde vi opdaget dem for længe siden.

Og der bliver faktisk kigget efter nye naturkræfter, blandt andet af forskningsgruppen Eöt-Wash ved University of Washington, som er opkaldt efter ungarenen Loránd Eötvös, som var én af pionererne inden for den tidlige udforskning af tyngdekraften. Gruppen bruger en smart og simpel forsøgsopstilling med et pendul og en kobberplade (begge med huller i), som kan bringes nærmest vilkårligt tæt på hinanden. Når så kobberpladen sættes i rotation, og der lyses med en laser på pendulet, kan tyngdekraften mellem pendulet og kobberpladen måles præcist ned til meget korte afstande, se figur 5 for en illustration af opstillingen. Resultaterne har indtil videre vist, at tyngdekraften gør sit arbejde fremragende (= ingen nye naturkræfter) over afstande, som er noget mindre end en millimeter. Samtidig viser resultaterne, at mange fysikers våde drømme om mere end tre rumlige dimensioner i Universet kun kan realiseres, hvis den eller de ekstra dimensioner er meget kompakte [6].

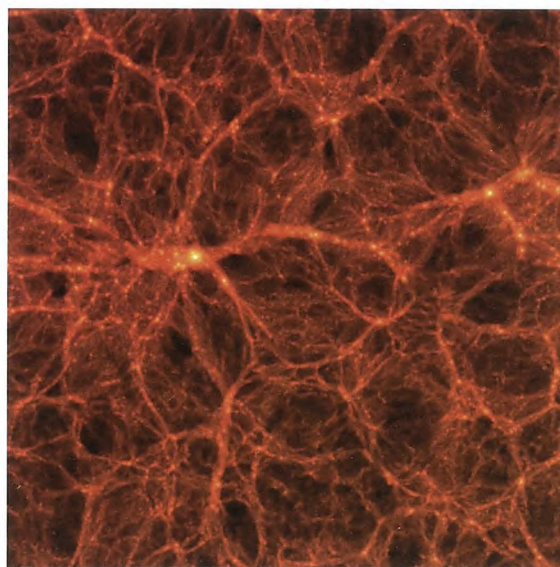


Figur 5. Den eksperimentelle forsøgsopstilling i Eöt-Wash-eksperimentet, hvor tyngdekraften mellem det hængende pendul og kobberpladen bliver testet ned til meget korte afstande (University of Washington).

Andre steder, hvor der ledes efter mulige nye kræfter med kort rækkevidde er (naturligvis) på CERN i Genève, hvor den slags sagtens kunne finde på at give sig til kende indenfor de næste år (forfatteren her krydser fingre). Det samme gør sig gældende for ekstra dimensioner i Universet eller måske mikroskopiske sorte huller, der i parentes bemærket, kun kan lade sig gøre med ekstra dimensioner. Alle disse ting vil kræve en revidering af én eller flere af de nuværende naturkræfter eller en tilføjelse af nye [7].

I den anden ende af længdeskalaen kan man forestille sig nye naturkræfter med meget lang rækkevidde som en mulig forklaring på Universets tilsyneladende accelererede udvidelse. I sidste ende er et accelererende univers domineret af den tiltrækkende tyngdekraft så exceptionel en observation, at det ikke er utænkeligt, at det vil kræve en exceptionel forklaring. Hvad nu, hvis der fandtes en femte (eller sjette) naturkraft, som var svag som tyngdekraften, men som var frastødende og gav anledning til accelereret udvidelse?

For at besvare det spørgsmål kræver det et pænt stort laboratorium – nemlig hele det synlige univers. Og det er sådan set let at forstå. For hvis vi indfører en femte kraft (eller kvintessens som det også hedder), som virker over store afstande, vil det fx påvirke fordelingen af galakser og galaksehobe i Universet. Men dem kan vi heldigvis se. Så udfordringen består “bare” i at observere nogle milliarder galakser samt at lave realistiske computermodeller for universer med forskellige egenskaber, se figur 6 for et eksempel. På den måde bliver forskerne i stand til at sammenligne teori med rigtige observationer. Resten af arbejdet er statistik for at finde det bedste match mellem teori og observationer. Det arbejde bliver vi allesammen meget klogere på om små ti år, når LSST-teleskopet og Euclid-satellitten har leveret observationer og teoretikerne har leveret computermodeller.



Figur 6. Computersimulering af Universets edderkoppe-spindslignende storskalastruktur lavet af Jacob Brandbyge og Steen Hannestad, Aarhus Universitet.

Hvis ikke en femte kraft viser sig at være forklaringen på den accelererede udvidelse, kan tyngdekraften måske hjælpe. For hvad nu hvis tyngdekraften kun opfører sig, som vi tror, på kortere afstande og er svagere over meget store afstande? Det kan fx lade sig gøre, hvis vi tillader os at justere lidt i geometrien, som ligger bag Einsteins ligninger for Universet [8]. Den slags kan sagtens lade sig gøre teoretisk, men man løber ofte ind i problemer med observationerne. Fx holdes der løbende øje med afstanden mellem Jorden og Månen ved hjælp af laserstråler, se figur 7. For det er vældig svært at designe en ændring i tyngdekraften på meget stor skala, sådan at der ingen effekt er på vores

Solsystem. Ud fra lasermålingerne af Månens afstand har man ikke fundet anledning til, at tro på andet end den almindelige tyngdekraft.



Figur 7. Der holdes løbende øje med afstanden til Månen ved hjælp af laserstråler, her fra Goddard Geophysical and Astronomical Observatory (NASA).

På nuværende tidspunkt eksisterer der ikke troværdige teorier, som ændrer ved tyngdekraften uden at de skaber konflikter med andre observationer af Universet. Men her er det samtidig værd at huske på, at indtil 1915, hvor Einstein kom frem med sin generelle relativitetsteori, eksisterede der heller ikke nogen troværdig teori, som kunne forklare Merkurs underlige bane. Så at der ikke eksisterer en realistisk teori med ændringer i tyngdekraften betyder ikke, at der ikke vil findes en i fremtiden. I mellemtiden fortsætter kampen for at finde en sådan teori med uformindsket styrke.

Eftersøgningen af flere naturkræfter vil fortsætte i det uendelige. Det viser sig nok at *flyby*-anomalien finder en logisk forklaring, som har med noget materielt at gøre og ikke ekstra eller mærkelige naturkræfter. Universets accelererede udvidelse er derimod en helt anden sag, og det er på nuværende tidspunkt svært at spå, om det ender med det ene eller det andet. Som forsker vil jeg næsten håbe på, at vi finder en forklaring, som er rigtig mærkelig, og som kan chokere forskningsverdenen og tvinge os til at revidere lærebøgerne (igen).

Afslutningsvis vil jeg citere forfatteren Douglas Adams, der skrev "Hitchhikers Guide to the Galaxy" (læs den hvis du endnu ikke har gjort det): "Alt du har behov for at vide i øjeblikket er, at Universet er meget mere kompliceret end man skulle tro." Hatten af for det!

Litteratur

- [1] NASA Astrophysics: Fundamental Forces of Nature, <http://ecuip.lib.uchicago.edu/multiwavelength-astronomy/astrophysics/03.html>.
- [2] KHAN Academy. Four Fundamental forces (video forelæsning), <https://www.khanacademy.org/science/cosmology-and-astronomy/universe-scale-topic/light-fundamental-forces/v/four-fundamental-forces>.
- [3] G. Slave et al. (2012), Support for the thermal origin of the Pioneer anomaly, <http://arxiv.org/abs/1204.2507>.

- [4] L. Iorio (2015), Gravitational Anomalies in the Solar System?, *Int. J. Mod. Phys. D* **24** (2015) 1530015. ArXiv:1412.7673 [gr-qc].
- [5] S. Riemer-Sørensen & T. Davis (2010), Universet bliver mørkere og mørkere, *KVANT*, nr. 4 (2010).
- [6] The Eöt-Wash Group, Laboratory Tests of Gravitational and sub-Gravitational Physics, <http://www.npl.washington.edu/eotwash/results>.
- [7] Greg Landsberg, Searching for Extra Dimensions, <http://d0server1.fnal.gov/users/gll/public/edpublic.htm>; CERN, Extra dimensions, gravitons, and tiny black holes, <http://home.web.cern.ch/about/physics/extra-dimensions-gravitons-and-tiny-black-holes>.
- [8] Timothy Clifton et al. (2012), Modified Gravity and Cosmology, <http://arxiv.org/abs/1106.2476>.



Ole Eggers Bjælde er astrofysiker og specialkonsulent ved Center for Scienceuddannelse på Aarhus Universitet og arbejder med undervisning, forskning og formidling indenfor astrofysik og didaktik. Foto: Lars Kruse (AU).

PFEIFFER **VACUUM**

125
YEARS
NOTHING
IS BETTER

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

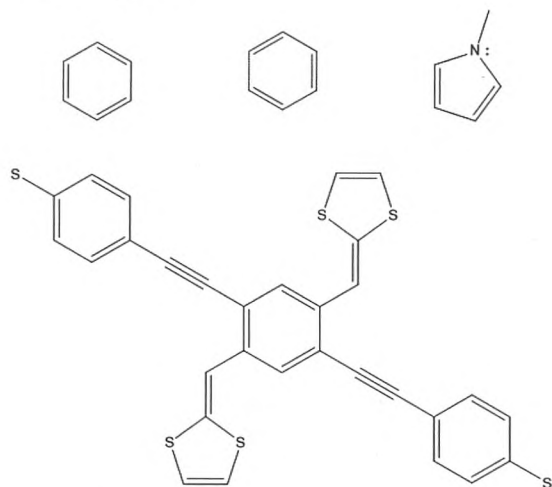
Kvantekemi for fysikere

Af Per Hedegård, Niels Bohr Institutet

Kemi og elektronernes opførsel i molekyler fylder meget lidt i fysikstudiet og blandt fysikere. Og det til trods for, at blandt de mest aktive felter i fysikken – biofysik og kvanteelektronik – spiller molekyler en afgørende rolle. Her fortælles om nogle af de afgørende begreber i kvantekemien, som enhver fysiker uden adgang til computer bør kende til.

For over 10 år siden skabte vi på Københavns Universitet et tværvidenskabeligt center, Nanoscience Centeret. "Nano" refererer naturligvis til nanometer (10^{-9}m), dvs. til ting, der har en størrelse på nogle få nanometer. Fysikerne kom med deres præcise målemetoder og fx med ambitioner om at skabe elektroniske komponenter, der har nanostørrelse, eller at skabe kvantecomputere. På den anden side, så er nanoverdenen traditionelt kemikernes domæne. Her er atomerne sat sammen til molekyler af meget varierende størrelse og kompleksitet. De første par år i centerets liv blev der investeret mange kræfter i at forstå hinandens sprog.

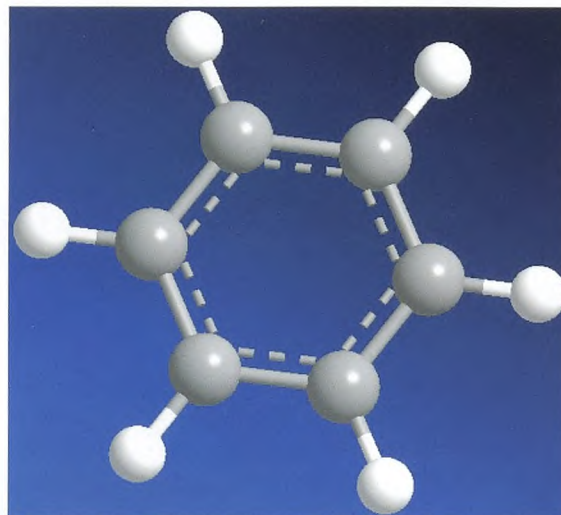
For os fysikere, som typisk synes at H_2 -molekylet (se boksen senere) er noget at det mest indviklede vi kan forestille os, var det meget skræmmende at se kemikerne jonglere rundt med molekyler som fx dem, der er vist i figur 1.



Figur 1. Organiske molekyler.

Det første af disse molekyler er sikkert velkendt for de fleste. Det er benzen. Formlen for benzen er C_6H_6 , dvs. 6 kulstofatomer og 6 brintatomer. Men diagrammet viser bare en 6-kant. Hvor er atomerne? Det bliver lidt klarere, hvis vi ser i figur 2, hvor benzenmolekylet er vist på en anden, lidt lettere forståelig måde. Her er de grå atomer kulstof og de hvide er brintatomer. Vi forstår nu kemikernes tegnsprog: Man viser slet ikke brintatomer! Det er underforstået, at i hvert punkt, hvor flere linjer mødes, er der et kulstofatom. En regel er desuden, at ud fra hvert kulstofatom skal der udgå 4 linjer. Hvis der ikke er 4 linjer, så er det fordi man underforstår en linje, som tænkes forbundet til et ikke vist brintatom. I diagrammet for benzenmolekylet er der

kun 3 linjer, der mødes i hvert punkt, så vi må forstå, at der til hvert kulstofatom er en ikke vist linje, der går ud til et af ialt 6 brintatomer.



Figur 2. Benzenmolekylet.

I andre molekyler, som fx det tredje (pyrrol) og det fjerde (cruciform) ret indviklede i figur 1, er der også andre atomer. Typisk kvælstof (N), ilt (O) og svovl (S). Disse vil være angivet med et bogstav i diagrammet. Desuden er der tælleregler for hvert af disse atomer. For N skal man tælle til 5, for O og S til 6. Det viser sig, at disse tal refererer til valenselektronerne i disse atomer. Kulstof har 4 valenselektroner, kvælstof har 5, osv. I pyrrol i figur 1 er der kun vist 3 linjer ved kvælstofatomet. De to manglende linjer, der kan bringe os op på de krævede, er repræsenteret ved et såkaldt "lone pair". Et lone pair er et par af elektroner, som begge er i den samme atomare orbital. På svovlatomerne, i det fjerde molekyle, er der ikke mindre end to lone pairs, som ikke deltager i nogen kemisk binding med naboatomer.

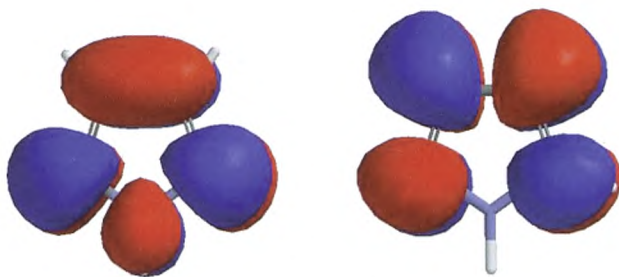
Men hvad betyder en linje, eller en binding? Og hvorfor kan man sommetider have to forskellige konfigurationer af linjer i det samme molekyle, som fx i de to versioner af benzen i figur 1?

I vores diskussioner mellem kemikere og fysikere lykkedes det aldrig rigtigt at få en præcis forklaring på, hvad en linje i diagrammet helt præcist repræsenterer endside, hvorfor der er flere diagrammer for det samme molekyle. Kemikerne kan benytte diagrammerne med stor elegance og kan med sikkerhed benytte dem til at forudsige de forskellige molekylers egenskaber og evne til at reagere. Men hvad den dybere forklaring

er, indgår tilsyneladende ikke i en almindelig kemikers uddannelse.

De forskellige diagrammer til det samme molekyle kaldes *resonansformer* og de blev indført i kemien af nobelpristageren Linus Pauling. Han fik i 1954 nobelprisen i kemi for netop sin forklaring af kemiske bindinger. Pauling var fra Oregon, USA og tog sin ph.d. i 1925. Umiddelbart efter tog han på en dannelsesrejse til Europa for bl.a. at besøge Niels Bohr i København og for at lære den nye kvanteteori direkte fra opfinderne selv.

Inden vi går videre med at forklare resonansformerne, er det interessant at fortælle lidt om den historiske udvikling. Paulings metode var meget dominerende i de første årtier siden kvantemekanikkens start, men i 1950'erne og 1960'erne blev et andet synspunkt mere dominerende. Her opfattede man – delvist korrekt – elektronerne som bølger. Dette er helt i overensstemmelse med den elementære kvantemekanik. Hvis man gør det, så vil en enkelt elektron skulle opfattes som en bølge, der udbreder sig over hele molekylet. Man kalder sådan en bølge en *molekylorbital* (MO). Der er udviklet computerprogrammer, som meget effektivt kan beregne disse molekylorbitaler. Se et eksempel på pyrrol-orbitaler i figur 3.



Figur 3. To molekylorbitaler i pyrrol.

I et organisk molekyle som fx pyrrol er der mange MO, ofte flere end der er atomer i molekylet. Men kun ca. halvdelen af disse orbitaler er benyttet af faktiske elektroner i molekylet.

Computerprogrammerne er blevet stadigt mere effektive, og i dag har enhver kemiker installeret et på sin computer og kan straks beregne orbitalerne for hvilket som helst molekyle, man er interesseret i. Programmerne er meget ofte baseret på den såkaldte *tæthedsfunktionalteori* (eller *DFT* som den engelske forkortelse lyder) [1]. I denne teori, formuleret af fysikeren Walter Kohn, er MO hjælpstørrelser, når man ønsker at beregne det samlede elektroniske bidrag til energien af et molekyle. Som teori for, hvordan den faktiske kvantetilstand ser ud for et molekyle, er teorien imidlertid dårlig. Dette problem er også kendt i faststoffysikken, hvor det fx vides, at teorien kan gøre isolatorer til metaller og omvendt.

Jeg vil derfor fortsætte med at beskrive Paulings metode, som er konstrueret til at beskrive den korrekte kvantetilstand og ikke lider af de samme skavanker som DFT.

En valens-binding (VB)

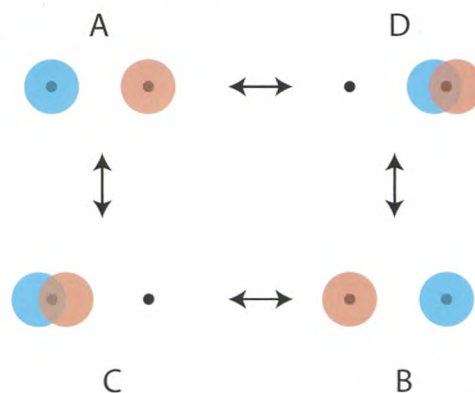
Når man i et diagram tegner en dobbeltstreg, så repræsenterer begge de to linjer en binding. En binding består af to elektroner, som det meste af tiden opholder sig på hvert sit atom. Man skal huske, at udover at være ladet, så er elektroner også små magneter. Det skyldes at de ladede elektroner roterer – eller spinner – omkring deres akse og derved udgør en lillebitte spole med strøm. Siden Ampere har vi vidst, at en strømførende spole er en magnet med en nordpol i den ene ende og en sydpol i den anden. Således også for elektroner. I elektronparret hørende til en binding vil den ene elektron have sine poler pegende i én retning, mens den anden elektrons poler peger præcist modsat. Herved bliver parret helt umagnetisk og uden poler. I kvantemekanikken er tilstanden beskrevet som en superposition af to konfigurationer som vist i figur 4. Bemærk her minus-tegnet mellem de to tilstande. Dette er en såkaldt sammenfiltret – eller “entangled” – tilstand. Disse par kommer der flere af i det følgende.



Figur 4. Et elektronpar i en Heitler-London-binding. Bemærk især elektronernes spin.

Heitler-London-teorien for den kemiske binding i H_2 -molekylet

I tilstandene *A* og *B* har hvert af to brintatomer en elektron. De to elektroner har hvert sit spin (illustreret med farverne blå og rød). Hvis atomerne er tilstrækkeligt tæt på hinanden er det muligt for de to elektroner at bytte plads via de to processer $A \rightarrow C \rightarrow B$ eller $A \rightarrow D \rightarrow B$. Sådanne processer kaldes *exchange*-processer (eller ‘udvekslings’-processer).



Tilstedeværelsen af exchange gør, at den egentlige grundtilstand for atomerne er en superposition af *A* og *B*, og denne superposition har en lavere energi. Energiændringen benævnes ofte *J* og kaldes exchange-energien. Denne energi er gevinsten ved at anbringe de to atomer tæt på hinanden, dvs. danne et molekyle. Hvis de to elektroner havde haft samme spin (hvis de begge fx var blå), så ville tilstandene *C* og *D* ikke være lovlige ifølge Pauli-princippet, så i det tilfælde ville der ikke være nogen exchange-energi.

I kvantemekanikkens tidlige år, i 1927, viste de to fysikere (Walter) Heitler og (Fritz) London, at sådan et elektronpar har særlig lav energi. Det vil koste en energimængde, ofte benævnt J , at bryde parret. Denne opdagelse var meget inspirerende for Pauling og han benyttede Heitler-London-bindingen i mange andre molekyler end det simple fysiker-molekyle H_2 (se boksen). Bl.a. forklarede han, hvorfor kulstof har en tendens til at have sine naboatomer siddende med 120 graders mellemrum. Det skyldes, at de relevante atomare orbitaler i kulstofatomet er tre såkaldte sp_2 -hybrider. I en sådan orbital har en elektron særlig stor sandsynlighed for at befinde sig ud langs en bestemt retning i atomet. Findes der et andet atom i den retning, kan en elektron i en tilsvarende orbital i dette atom danne et Heitler-London par med elektronen i det første kulstofatom og danne en binding. En sådan binding kaldes en σ -binding. Den er meget stabil, og tilstanden ændrer sig ikke, når tiden går. De tre sp_2 -orbitaler ligger i en plan og peger i retninger med 120 grader imellem.

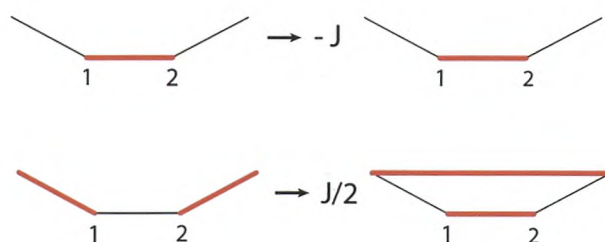
Men i et kulstofatom kan man danne fire forskellige orbitaler, så ud over de tre orbitaler, der deltager i σ -bindinger, så har atomet også såkaldte p_z -orbitaler, hvor det er mest sandsynligt at finde en elektron langs retningsvinkelret på sp_2 -orbitalernes plan ("lige over" eller "lige under" atomet), og som ikke "foretrækker" noget naboatom. Det er elektroner i disse orbitaler, der er særligt interessante, og som afgør egenskaberne ved rigtig mange organiske molekyler.

Exchangeprocesser

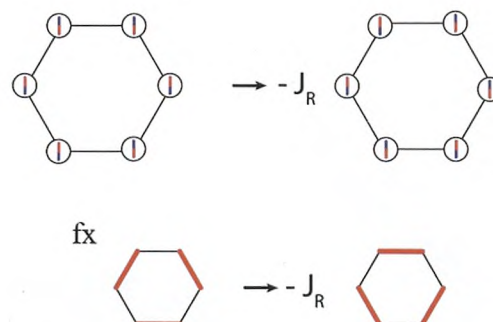
I et molekyle som fx benzen er der mere end to p_z elektroner og disse kan parre sig på mere end én måde. Tag den første konfiguration i figur 1. Her har 6 elektroner i p_z -orbitaler parret sig to og to, og hvert par skal opfattes som værende i en Heitler-London tilstand (her kaldes bindingen dog en π -binding). Denne tilstand vil ikke være stationær. Efter et stykke tid vil tilstanden forandre sig og gradvist "morfe" til nye konfigurationer. Dette sker i overensstemmelse med kvantemekanikkens grundligning – Schrödingers ligning (nu bliver det teknisk!). Efter et kort stykke tid Δt vil molekylets konfiguration ændre sig til en superposition af den oprindelige konfiguration samt en smule af de tre konfigurationer i figur 2. "En smule" er her et tal, som er proportional med tiden Δt men også proportional med exchange-energien J . Helt præcist er faktoren for de ny bidrag lig med $-iJ\Delta t/\hbar$, hvor i er det komplekse grundtal, dvs. $\sqrt{-1}$ og $\hbar$ er Planck's reducerede konstant, som altid dukker op, når vi laver kvantemekanik. I figur 5 er vist de regler, som styrer tidsudviklingen. De fysiske processer, hvorved elektronparrene flytter sig, kaldes exchange-processer. Der er knyttet en sådan proces til hvert par af nærmeste naboer i molekylet. Hvis et par befinder sig på to naboatomer, så vil denne tilstand udvikle sig til $(1 + iJ\Delta t/\hbar)$ gange sig selv (den øverste regel i figur 5). I figuren vises desuden, hvordan en exchange-proces ser ud for to naboatomer, hvor der ikke er noget elektronpar mellem de to naboer. Her kan en exchange-proces ændre tilstanden til et elektronpar på de to naboatomer (samt et par på de to resterende ikke-naboatomer), som vist i reglen i 2. linje i figur 5.

Exchange processer

1. Nærmeste-nabo exchange

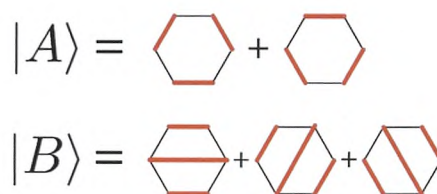


2. Ring exchange

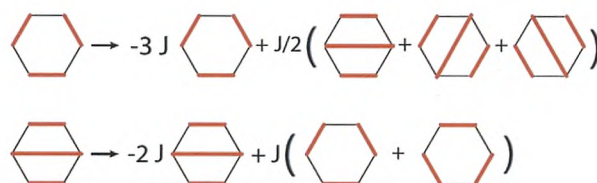


Figur 5. De vigtige såkaldte exchange-processer, der beskriver tidsudviklingen af bindingerne i simple organiske molekyler. I denne figur repræsenterer en rød linje et Heitler-London par.

Spørgsmålet er nu, om man kan danne en superposition af disse forskellige resonansformer, som *ikke* forandrer sig når tiden går, men højst bliver ganget med en faktor. En sådan tilstand vil i løbet af kort tid udvikle sig til en faktor $(1 - iE\Delta t/\hbar)$ gange sig selv. Her er konstanten E den stationære tilstands energi.



Figur 6. VB-tilstande i benzen. Tilstanden $|A\rangle$ kaldes Kekulé-tilstanden (efter 18-hundredetals kemikeren August Kekulé, som var den første, der bestemte benzens struktur som en 6-kant af kulstofmolekyler), og $|B\rangle$ benævnes Dewar-tilstanden.



Figur 7. Exchange-processers virkning på henholdsvis Kekulé- og Dewar-tilstande. Figurene viser den grafiske baggrund for tekstens ligninger.

Lad os som eksempel se på benzen. Vi definerer to tilstande som vist i figur 6. Exchange-processerne udvikler disse tilstande på følgende måde:

$$\begin{aligned} |A\rangle &\rightarrow -3J|A\rangle + J|B\rangle, \\ |B\rangle &\rightarrow -2J|B\rangle + 3J|A\rangle. \end{aligned} \quad (1)$$

Lidt matematisk pusleri viser, at superpositionen $|\Psi\rangle = \alpha|A\rangle - |B\rangle$ faktisk er stationær, hvis konstanten $\alpha = (1 + \sqrt{13})/2 = 2.3028$. Exchange-processerne udvikler $|\Psi\rangle$ som følger

$$|\Psi\rangle \rightarrow -(2 + \alpha)J|\Psi\rangle, \quad (2)$$

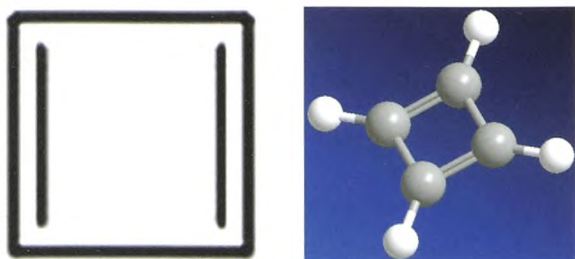
så vi kan slutte at energien af tilstanden er givet ved $E = -(2 + \alpha)J = -4.3028J$.

Dette er bemærkelsesværdigt. Resonansformen for benzen fra figur 1 har tre π -bindinger, der samlet har energien $-3J$, men den tilstand vi nu har fundet, har en betydeligt lavere energi. Så det kan i høj grad betale sig for elektronerne at danne denne superposition. Den ekstra energigevinst $\Delta E = -E + 3J = -1.3028J$ kaldte Pauling for *resonansenergien*.

Hückels regel og Ring-exchange

I en kort artikel som denne kan jeg naturligvis umuligt gennemgå alle aspekter af kvantekemien. En vigtig regel vil jeg dog nævne, nemlig Hückels regel. Den er opkaldt efter den kvantekemiske pioner Erich Hückel. Han var faktisk også gæsteforsker på Niels Bohr Institutet i slutningen af 1920'erne. Her formulerede han en simpel version af MO-teorien, som i dag er meget brugt. Senere formulerede han en regel, der vedrører molekyler, der indeholder atomare ringe. Benzen er med sine 6 kulstofatomer i ring et simpelt eksempel herpå. Pyrrol har en 5-ring (der dog har 6 π -elektroner). Man kunne også forestille sig et simpelt molekyle med 4 kulstofatomer i ring (samt 4 brintatomer). Dette molekyle kaldes cyclobutadien. Det er dog meget vanskeligt at syntetisere, og det skyldes Hückels regel.

Reglen siger, at ringe med $4n + 2$ elektroner, hvor n er et helt tal, er særligt stabile, mens ringe med $4n$ elektroner er særligt ustabile. Benzen er et eksempel på det første. Benzen har 6 ($= 4 \cdot 1 + 2$) π -elektroner. Omvendt er cyclobutadien meget ustabil idet det har 4 ($= 4 \cdot 1$) π -elektroner.



Figur 8. Det ustabile cyclobutadien-molekyle. Det har 4 ($= 4 \cdot 1$) π -elektroner.

Den kvantemekaniske forklaring på Hückels regel skal findes i en sidste vigtig type exchange-processer, nemlig de såkaldte *ring-exchange*-processer. De er vist i

figur 5. I processen flytter elektronerne i ringen simpelthen én plads med uret rundt i ringen. Der er også processer, hvor elektroner skifter rundt i retning mod uret. Energien knyttet til disse processer kaldes J_R , og den kan være temmelig stor, dvs. næsten lige så stor som energien J for den enkelte binding.

Ud fra reglen i figur 5 kan man regne ud, at begge tilstandene $|A\rangle$ og $|B\rangle$ i benzen ikke forandrer sig, når de udsættes for ring-exchange processer (fx udvikler de to resonansformer i $|A\rangle$ sig til hinanden), bortset fra, at energien sænkes med værdien J_R .

Præcist det modsatte sker i cyclobutadien, hvor det viser sig, at energien *øges* med J_R og derfor destabiliserer molekylet.

Det skal også nævnes, at ring-exchange processer er helt essentielle, når det drejer sig om at forstå, om molekyler er diamagnetiske (frastødes af en magnet) eller paramagnetiske (tiltrækkes af en magnet).

Afsluttende bemærkninger

I dag taler fysikere og kemikere i Nanoscience mere fortroligt med hinanden. Vi har en fælles forståelse af, hvordan man skal tænke på molekylerne og deres elektronstruktur. Som fysikere har vi opdaget, at der i kemien eksisterer to tankemåder. Den ene er knyttet til computerprogrammernes meget let tilgængelige molekylorbitaler, og så er der en ældre og meget intuitiv metode, der stammer fra starten af det 20. århundrede, der involverer elektron-par i bindinger og beskrives med små effektive tegninger med enkelt-, dobbelt- og sommetider tredobbeltlinjer. Det viser sig, at disse små tegninger er lige så solidt forankret i kvantemekanikken som computerprogrammernes molekylorbitaler. Disse billeder giver, i modsætning til billeder af molekylorbitaler, et indtryk af den samlede kvantetilstand for alle molekylets elektroner. Noget der fx er vigtigt, når man ønsker at forstå, hvordan en elektron kan vandre igennem et molekyle. Dette sidste er altafgørende, hvis man ønsker at konstruere elektroniske transistorer, der ikke er større end et enkelt molekyle.

Litteratur

- [1] Læs mere om dette i: Lasse B. Vilhelmsen og Anton M.H. Rasmussen, Hvorfor guld er det ædleste metal – et studie med tæthedsfunktionalteori, *KVANT* 24 nr. 2 p. 12-6 (2013).



Per Hedegård er professor ved Niels Bohr Institutet og Nano Science Center, KU. Han er teoretisk faststoffysiker og beskæftiger sig fx med molekyler nanoelektronik.

Naturvidenskabelig analfabetisme

Af Jens Olaf Pepke Pedersen, DTU Space

Når helt almindelige ord som atomer, radioaktivitet, kemi og gener kan give anledning til bekymring, bør vi måske være bekymrede for, om en naturvidenskabelig analfabetisme er ved at brede sig.

Snow-debatten

Den 7. maj 1959 holdt den engelske fysiker og forfatter C.P. Snow et engageret foredrag i Cambridge med titlen "The Two Cultures", hvori han beskrev kløften mellem den klassisk-humanistiske og den teknisk-videnskabelige kultur. Han gav en underholdende beskrivelse af naturvidenskabelige forskere, som ikke var i stand til at kæmpe sig igennem en novelle af Dickens, og morsomme eksempler, som det svar han fik, da han spurgte en af forskerne, hvilke bøger vedkommende læste: "Bøger? Jeg foretrækker at bruge mine bøger som værktøj".

Situationen var ikke bedre hos humanisterne, hvor selv professorerne aldrig havde hørt om termodynamikkens anden hovedsætning, og ifølge Snow ville de fleste af dem ikke engang forstå, hvad han talte om, hvis han havde bedt dem om at forklare begreber som masse og acceleration. Så alt imens den moderne fysik var igang med at opbygge sit "storslåede bygningsværk", havde størstedelen af den vestlige verdens mest intelligente mennesker ifølge Snow omtrent lige så ringe indsigt i dette, som deres stenalderforfædre ville have haft.

Snow mente, at man for at fremme menneskehedens samlede viden og gavne samfundet skulle bygge broer mellem de to kulturer, og hans foredrag, der senere blev udgivet i bogform [1], gav anledning til en langvarig og hidsig debat. Debatten fik yderligere næring tre år senere, da den engelske litteraturkritiker F.R. Leavis kom med en sønderlemmende kritik af Snow [2], men hans argumenter druknede nærmest helt i hans elegant formulerede, men særdeles giftige personangreb på Snow, der ifølge Leavis både som forsker og novellist var så middelmådig, som man på nogen måde kunne blive, og at Snow derfor kun var interessant fordi han netop var så uoriginal.

Måske var Snows karakteristik af de "to kulturer" heller ikke specielt veldefineret, men han må alligevel have ramt en resonans med sin bekymring for, at de to kulturer savnede et grundlæggende kendskab til hinandens sprog. Mærkværdigvis har den mest synlige danske reaktion på Snow-debatten været, at universiteterne har afskaffet det filosofikum, der ellers var ens for alle universitetsstuderende, og som derfor kunne fungere som en bro mellem humaniora og de teknisk-naturvidenskabelige fag. Kløften mellem de to kulturer er derfor næppe blevet mindre siden 1959, men spørgsmålet er, om vi ikke har et større problem i dag i form af et generelt tab af almen dannelse, som viser sig ved en grundlæggende uvidenhed.

Set fra den teknisk-naturvidenskabelige side af kløften kan man godt blive bekymret, når man ser den besynderlige måde, som helt almindelige udtryk fra fysikken eller kemien bliver brugt på i samfundsdebatten. Nogle af anvendelserne er uden tvivl udtryk for en sproglig dovenskab, men de tyder desværre også på en udbredt naturvidenskabelig analfabetisme.

Frygt for radioaktivitet

Ioniserende stråling kan være dræbende. Et af de mest berømte eksempler er Marie Curie, der var ophavskvinden

til ordet "radioaktivitet" og én af pionererne i udforskningen af fænomenet. Desværre kendte man dengang ikke til de ødelæggende virkninger af strålingen, og Marie Curie gik ofte rundt med radioaktive isotoper i lommen eller havde dem liggende i skrivebordsskuffen, hvor hun glædede sig over det blå-grønne lys, som de udsendte i mørke. Hun døde i en alder af 66 år som følge af skaderne fra mange års ubeskyttet omgang med de radioaktive stoffer.

Marie Curies skæbne betyder heldigvis ikke, at enhver nok så minimal mængde radioaktivitet er dræbende, men det indtryk kunne man godt få fra mediernes omtale, hvor alene ordet radioaktivitet¹ kan give anledning til panikreaktioner. Radioaktive stoffer forekommer imidlertid overalt i naturen, og vi udsættes derfor konstant for radioaktivitet både fra undergrunden og fra den kosmiske stråling. Mange fødevarer er helt naturligt radioaktive, så hvis man er bekymret for radioaktiviteten bør man nok drikke whisky i stedet for mælk, som har et højere radioaktivt indhold. Man skal i så fald også holde sig fra især bananer, der har et særligt højt indhold af radioaktivt kalium-40. Efter uheldet på et kernekraftværk på Tremileøen i Pennsylvania i 1979 skabte mediernes frygt ved at berette om radioaktivt jod i den lokale mælk, selvom man skulle drikke 75 glas mælk for at få en dosis svarende til en enkelt banan. Frygten for radioaktivitet er i mange tilfælde mere farlig end selve radioaktiviteten, og det er måske meget sigende, at mange i 1970'erne bekymret sang med på omkvædet "millirem, millirem, ..." i protesthittet "Plutonium".

Efter Tjernobylyulykken i april 1986 var der talrige beretninger om nyfødte kalve og grise fra området med misdannelser, selv om misdannelser forekommer naturligt og hyppigheden ikke var større end normalt. I juni 1986 blev der født en kalv med seks ben i nærheden af Tjernobyli, og billederne gik verden rundt, hvor det stakkels dyr blev præsenteret som et resultat af ulykken, selvom en ekspertgruppe forgæves påpegede, at kalvens misformede organer for længst var dannet da Tjernobyli-værket eksploderede.

Zoner uden atomer

Uanset om atomer er radioaktive eller ej, kan de også være skræmmende nok i sig selv. Der findes næppe en politiker, der ikke har deltaget i debatten om "atomfrie zoner", og sidste år ville det radikale folketingsmedlem Zenia Stampe endda gøre hele Arktis atomfrit. Selv det ydre rum er imidlertid ikke frit for atomer, og en ægte atomfri zone ville være en stor ulykke for Arktis. Jeg kan derfor heller ikke dele beklagelsen hos lederskribenten i Information, der tidligere i år konstaterede, at der stadig var "langt til Obamas atomfri verden".

Fossiler og klima

Mens der er politisk uenighed om det formålstjenlige i atomfrie zoner, så er der til gengæld større konsensus om at skabe et "fossilfrit" Danmark. Fossiler er forstenede planter eller dyr, som findes overalt i landet, så på trods af den store opbakning til projektet, vil det imidlertid være en umulig opgave for palæontologerne at gøre landet fossilfrit. Klima-

¹"Radioaktiv" betyder "stråleaktiv", så en sproglig mærkværdighed, som undertiden høres i denne forbindelse, nemlig "radioaktiv stråling", kan vist siges at være en pleonasme.

debatten har også forsynet os med mærkelige ord, som "CO₂-forurening", på trods af at CO₂ er en ugiftig og lugtfri gas, som er helt afgørende for planternes fotosyntese og dermed for livet på Jorden. Hvis man imidlertid reducerer sit eget bidrag til CO₂-emissionerne eller ens "kulstof-fodaftryk", som det også bliver kaldt, så vanker der en indre belønning i form af, at man får en god klimasamvittighed. De mange opfordringer om at udvise klimabevidsthed, indebærer dog en alvorlig risiko for i stedet at udvikle klimakvalme.

Blandt de mere kuriøse udtryk er begrebet "klimafor-nægter", hvilket formodentlig skal skabe associationer til holocaustfor-nægter, og derfor ikke er venligt ment. Det giver nu ikke mening, da der næppe er nogen, der "for-nægter", at vi har et klima, og der findes derfor en variant i form af udtrykket "klimaforandringsfor-nægter", hvilket dog ikke er meget bedre, eftersom der nok heller ikke er nogen, der benægter, at vi har haft istider. Man kan i klimasammenhæng også undre sig over, at et adjektiv som "skeptisk", som egentlig burde være et positivt udtryk i videnskabens verden, nu anvendes som skældsord.

Uden om nano

Præfikser bruges til at angive størrelser, og normalt er det derfor praktisk at bilen er udstyret med en kilometertæller, og at for eksempel synligt lys måles i nanometer, men bryder man sig ikke om enheden, kan man hos Forbrugerrådet hente en vejledning i, hvordan man kommer "uden om nano i dagligdagen".

Fødevarer og kemi

Fødevarer er et helt kapitel for sig selv, hvor maden skal være kemifri. Glostrup Kommune har endda en hjemmeside, der fortæller, hvordan man får en "sund baby uden kemi" og en "kemifri have". Men al mad er opbygget af kemiske stoffer og er et produkt af talrige kemiske processer, så det kan ikke lade sig gøre. Nogle gange modificeres ønsket om fødevarer uden kemi derfor med et udsagn om, at kemikalier i maden skal være "naturlige", i modsætning til dem vi fremstiller og tilsætter kunstigt, ud fra en tankegang om, at de er sundere. Man kan imidlertid ikke se på et molekyle, om det er produceret i en proces i naturen eller i et laboratorium, så adskillelsen giver ikke mening. Mange af de kemikalier, som planter naturligt producerer, er endda giftige, fordi planterne gør, hvad de kan for at beskytte sig mod angreb af bakterier, svampe og insekter, og derfor lærer vi da også allerede som børn at lade være med at spise guldregn eller fluesvampe.

For nogle år siden viste en undersøgelse, at størstedelen af befolkningen har negative associationer til udtrykket "kemikalier", og sidste år måtte Danmarks Radio bringe den deprimerende meddelelse, at det nærmest var umuligt at leve en "kemikaliefri" tilværelse, uanset hvor mange økologiske eller svanemærkede produkter, man købte.

Genfri mad og E-numre

Kravet om genfrie fødevarer eller ligefrem genfrie zoner i naturen giver heller ikke mening. Der er gener i alle planter og dyr, og vi har derfor altid spist gener. Gener består af helt naturlige næringsstoffer, men hvis man er bekymret for, at gener ikke bliver nedbrudt i kroppen, skal man i hvert fald holde sig fra tomater, for DTU-forskere har nemlig opdaget, at man kan finde dna-rester fra tomater i menneskeblod. Kemiforskrækkede forbrugere benytter i stedet som tommelfingerregel, at de holder sig fra varer med mange E-numre. Det udelukker igen en række naturprodukter, og igen bør man holde sig langt væk fra tomater, der fra naturens side indeholder adskillige E-numre, som for eksempel farvestofferne E160a (beta-caroten), E160d (lycopen) og E101 (riboflavin). Tomaten er også udstyret med E300 (C-vitaminer) og smagsforstærkere: E621 (mononatriumglutamat), E330 (citronsyre) og E296 (æblesyre).

Hvis man helt vil undgå at indtage E-numre, bliver det særlig svært at komme udenom E941 (kvælstof) og E984

(ilt), så her er den eneste løsning desværre nok at holde op med at trække vejret. Løsningen har dog flere fordele, da man så heller ikke længere forurener sine omgivelser med CO₂ og hverken skal bekymre sig om atomer, kemi eller gener.

Uvidenhed i videnssamfundet

Som nævnt er udgangspunktet her den naturvidenskabelige side af kløften, men en ny bog [3] med titlen "Det demente samfund" af historikeren og samfundsforskeren Michael Böss giver en række eksempler på, at uvidenheden også er udbredt indenfor humaniora og samfundsvidenskab. En undersøgelse blandt førsteårsstuderende på statskundskab viste således, at der var studerende, der mente, at Goethe var en af Hitlers ministre, og at den forhenværende justits- og socialminister K.K. Steincke var en preussisk militærteoretiker. Lektor Gorm Harste fra Institut for Statskundskab på Aarhus Universitet citeres for, at omkring halvdelen af de nye studerende har en decideret "dårlig viden" om historie, geografi og samfundsfag, og at han tit oplever, "at det kan være svært at gennemføre en meningsfuld undervisning, fordi de studerende stiller mærkelige spørgsmål eller direkte ikke kender til de mest basale forhold indenfor historie".

En grundlæggende uvidenhed ser således ud til at være ganske udbredt, hvilket man godt kan undre sig over, når nu samtlige politiske partier jævnligt udtaler deres støtte til et videnssamfund og til en målsætning om, at den nuværende generation skal være den bedst uddannede i Danmarkshistorien.

Selv om der således er problemer nok at tage fat på, kunne et lille bidrag være i hvert fald at bygge et par broer mellem de to kulturer. En genindførelse af et fælles filosofikum ville være en rigtig god begyndelse. Det har der indtil nu ikke været politisk interesse for, men måske blæser der nye vinde efter at vi i år for første gang har fået en videnskabsminister, der selv har gennemført en forskeruddannelse. Den nye minister, Esben Lunde Larsen, er ph.d. i teologi, og da han samtidig er troende kristen førte det til en kort, men ophidset debat om, hvorvidt det kunne forenes med at være minister for videnskab. Det kan det nu nok, eftersom mange naturvidenskabsfolk gennem tiderne ikke har haft problemer med at være troende. Samtidig har ministeren i et af sine første interviews [4] varslet, at han vil styrke dannelsen på alle uddannelsesniveauer og rost det tidligere filosofikum. Direkte forespurgt ville han, som det hedder på politikersprog, "bestemt ikke afvise", at filosofikum igen kunne blive en del af universitetsuddannelsen. Så måske kan netop en teologisk uddannet videnskabsminister have de rigtige forudsætninger for at sprede oplysningens lys.

Litteratur

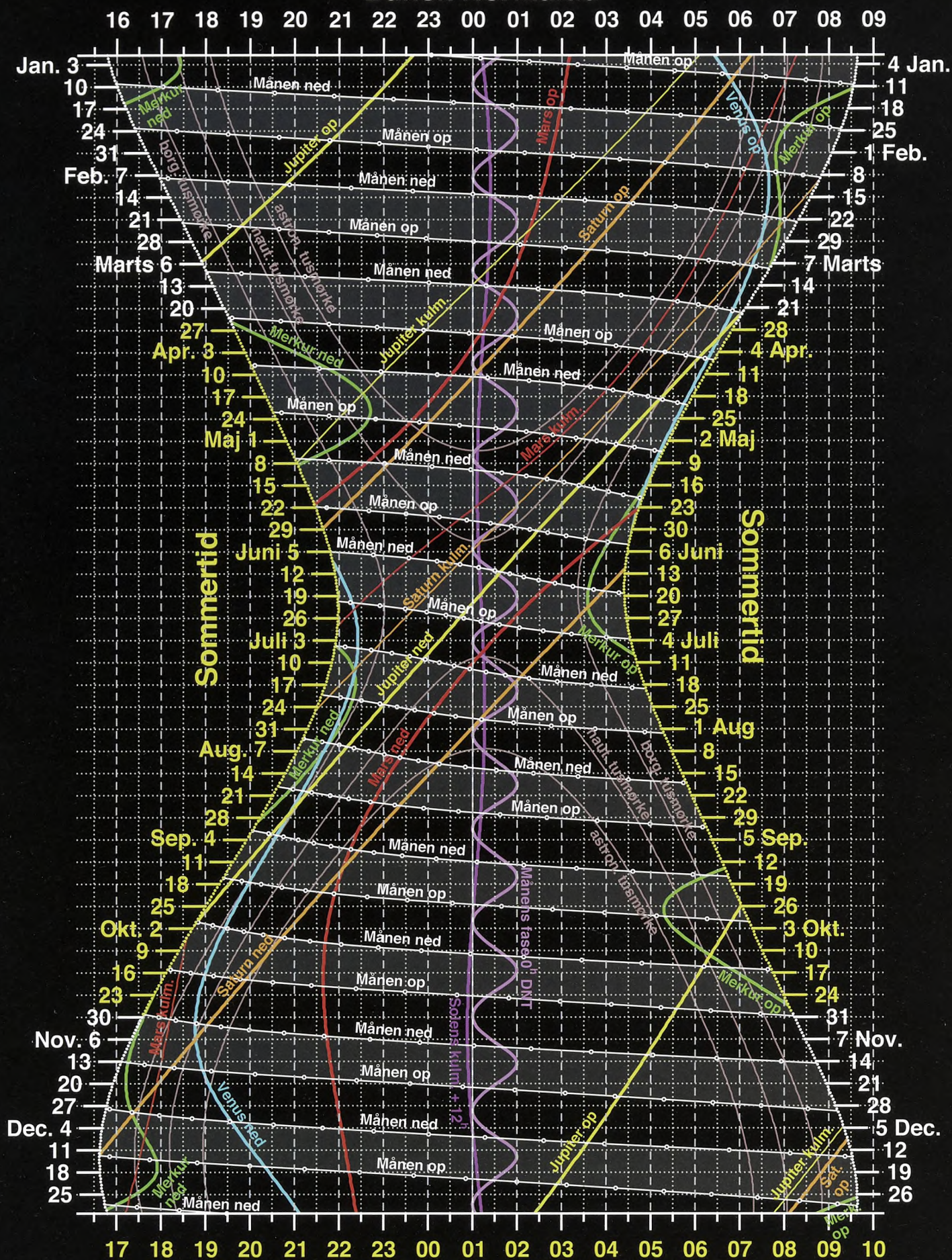
- [1] C.P. Snow (2012) The Two Cultures. Cambridge University Press.
- [2] F.R. Leavis (2013) Two Cultures?: The Significance of C.P. Snow. Cambridge University Press.
- [3] M. Böss (2014) Det demente samfund. Kristeligt Dagblads Forslag.
- [4] J. Vind (2015) Dannelsesministeren. Weekendavisen, nr. 31, 31. juli, side 5.



Jens Olaf Pepke Pedersen er seniorforsker på DTU Space og Polar DTU, hvor han arbejder med satellitter i Arktis og klimaændringer. Medlem af Kvants redaktion.

Planetkalender for København 2016

Dansk Normaltid



Foreningsnyt – foredrag i efteråret 2015

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Sep.				
7/9	19.15	De højeste energier – gammaastronomi	Niels Lund	AS (Kbh)
14/9	19.30	De højeste energier – gammaastronomi	Niels Lund	AS (Aarh)
14/9	19.30	Bioaktive stoffer i broccoli og raps	Barbara Ann Halkier	SNU
21/9	19.15	Nattens regnbuer i det synlige univers	Hans Bruntt	AS (Kbh)
Okt.				
5/10	19.30	Farlige gasser som byggeklodser i kemisk produktion	Troels Skrydstrup	SNU
5/10	19.30	Nattens regnbuer i det synlige univers	Hans Bruntt	AS (Aarh)
19/10	19.15	Røntgenastronomi – en nobelpris værdig	Allan Hornstrup	AS (Kbh)
22/10	19.30	De højeste energier – gammaastronomi	Niels Lund	AS (Jels)
26/10	19.30	Optisk kommunikation til fremtidens internet	Leif Oxenløwe	SNU
26/10	19.30	Røntgenastronomi – en nobelpris værdig	Allan Hornstrup	AS (Aarh)
Nov.				
9/11	19.15	Of pigeons, little green people and emus: The past, present and future of radio astronomy	Jun Yi Koay	AS (Kbh)
12/11	19.30	Submillimeter astronomi: Nye øjne på det kolde univers	Jes Jørgensen	AS (Jels)
16/11	19.30	Moderne glycobiologi med DNA-sakse	Henrik Clausen	SNU
16/11	19.30	Of pigeons, little green people and emus: The past, present and future of radio astronomy	Jun Yi Koay	AS (Aarh)
19/11	19.30	Røntgenastronomi – en nobelpris værdig	Allan Hornstrup	AS (Jels)
30/11	19.15	Submillimeter astronomi: Nye øjne på det kolde univers	Jes Jørgensen	AS (Kbh)
Dec.				
7/12	19.30	Submillimeter astronomi: Nye øjne på det kolde univers	Jes Jørgensen	AS (Aarh)
7/12	19.30	Cellers dynamik og udvikling – naturens geniale systemer Efter foredraget tildeles H.C. Ørsted Medaljen til en inspirerende gymnasielærer	Lene Oddershede	SNU

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

AS (Aarh): Astron. Selskab (Aarh), Matematisk Inst., Aarhus Univ., Ny Munkegade 118, Bygn. 1530, Aud. D2, 8000 Aarhus C.

AS (Jels): Astron. Selskab (Jels), Orion Planetarium Søvej 36, Jels, 6630 Rødding.

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

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Temaet for foredragsrækken er “Nye spændende grundforskningscentre”. Danmarks Grundforskningsfond har siden 1993 oprettet en perlerække af “Centers of Excellence”, og det har givet dansk grundforskning et betydeligt skub fremad. I efteråret har SNU inviteret lederne fra fem af de nuværende centre til at fortælle om deres banebrydende forskning. Tre af centrene er helt nystartede – det drejer sig om CADIAC, SPOC og STEMphys – mens DynaMo og Copenhagen Centre for Glycomics startede i 2012.

Man behøver ikke at være medlem af SNU for at komme til foredragene. Alle er hjertelig velkomne!

H.C. Ørsted Medaljen til inspirerende gymnasielærere

Fristen for indstilling til H.C. Ørsted Medaljen 2015 er den 26. oktober 2015.

Indstillingen skal stiles til SNUs direktion og mailes til: snu@naturvidenskab.net. Indstillingerne skal natur-

ligvis begrundes – gerne fra flere sider og gerne med konkrete eksempler på lærerens virke.

Se nærmere information på Selskabets facebookside: www.facebook.com/SNU1824.

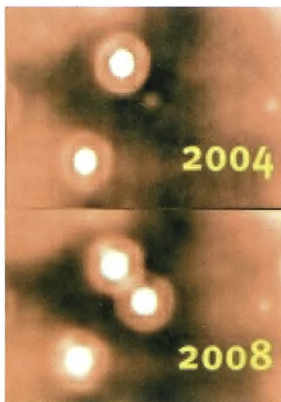
Astronomisk Selskab

Temaet for efterårets foredragsrække er “Astronomi – fra radio til gammastråler”. 2015 er lysets år. Vi har derfor i denne foredragsserie valgt at belyse astronomien i alle dens elektromagnetiske aspekter, som de giver sig til kende fra de mest langbølgede radiostråler over sub-millimeter og klassisk visuelt lys til røntgen- og gammastråling. Det vil i foredragsserien blive belyst, hvordan hvert bølgelængdeområde viser nye, forbløffende sider af Universet, som er helt usynlige ved andre bølgelængder.

Tilrettelæggere: Professor MSO Johan Peter Uldall Fynbo og specialkonsulent Ole Eggers Bjælde, Astronomisk Selskab.

Protostjerne varmer op

ASTRONOMI. I stjernebilledet Orion finder man stjerne-hoben NGC 1977, som befinder sig 1500 lysår fra Solen. Her har man fundet en meget ung protostjerne, HOPS 383. De mange observatorier og rumteleskoper har gjort det muligt at følge udviklingen af HOPS 383 over flere år. Før en protostjerne bliver en rigtig stjerne, kendetegnet ved kernefusion i det indre og udsendelse af synligt lys, kan den kun observeres som noget, der udsender infrarød stråling (varme). Man må forestille sig en stofansamling, der indeholder så meget masse, at den med gravitationskræfter kan tiltrække yderligere stof fra omgivelserne. Det tiltrukne stof accelereres og får herved større kinetisk energi, som kan sidestilles med opvarmning.



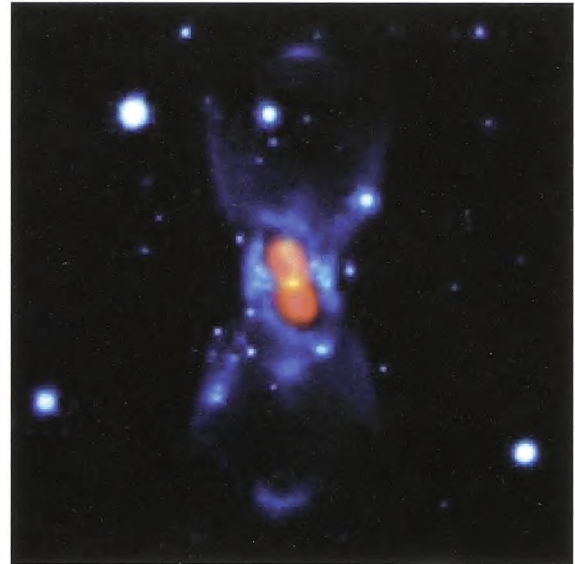
Billedet viser området omkring HOPS 383, som det kunne registreres i 2004 og 2008. Her er tale om optagelser af IR-stråling, og der er ingen tvivl om, at noget er sket. Der er også fundet optagelser fra 2012, som viser noget lignende som i 2008. Forskerne finder det årelange forløb bemærkelsesværdigt – noget der ikke er set før. Måske er en meget stor, massefyldt gas/støvsky blevet indfanget af gravitationsfeltet fra HOPS 383.

Kilder: Hops 383: an Outbursting Class 0 Protostar in Orion, Emily J. Safron et al., *The Astrophysical Journal Letters*, 2015 <http://iopscience.iop.org/2041-8205/800/1/L5/>; NASA-Meldung: NASA Satellites Catch a 'Growth Spurt' from a Newborn Protostar, <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=4518>

Stjernekollision

ASTRONOMI. I året 1670 kunne man på den nordlige halvkugle se noget, der lignede en nova i stjernebilledet Vulpeculae/Ræven. I mange år anså astronomerne fænomenet for at være frembragt af en "almindelig" nova. Efterhånden som astronomerne fik indsamlet mere og mere information om hændelsen blev det klart, at det ikke handlede om en almindelig nova.

Ekspllosionen i 1670 var så lysstærk, at den kunne ses med det blotte øje. Astronomerne havde problemer med at klassificere objektet som en ny stjerne, for den kom og gik tre gange over 10 måneder. Heller ikke betegnelsen supernova ansås for dækkende. Altså lidt af et mysterium, som nu synes at have fundet sit svar. Først i 1980'erne lykkedes det et hold astronomer at lokalisere eksplosionsresterne (støvsky). Observationer med radio- og submillimeter bølger af gasresterne har nu frembragt det nedenfor viste billede. Objektet er navngivet: "Nova Vulpeculae"/"Nova Vul 1670".



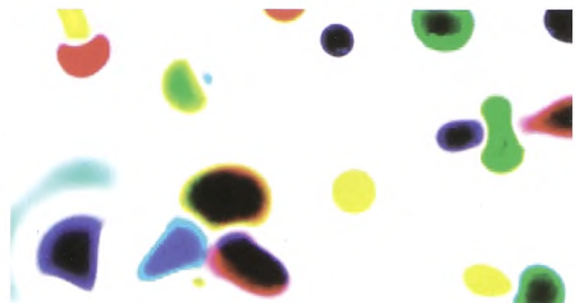
Forskerne kan se, at resterne fra eksplosionen er indlejret i en kold gassky. Eksplosionen i 1670 vurderes at have været kraftigere end en nova, men svagere end en supernova. Forskernes konklusion er derfor, at der er tale om et sammenstød mellem to stjerner, der oprindeligt udgjorde et binært system. En af virkningerne var, at stjernerne mistede deres kugleform og mængder af stof fra stjernernes indre blev spredt til omgivelserne.

Selv om astronomerne ikke visuelt kan bekræfte det, regner de med, at der bag den tætte støv/gas-tåge findes en rød kæmpestjerne.

Kilder: Nuclear ashes and outflow in the eruptive star Nova Vul 1670, T. Kaminski et al., *Nature*, 2015; <http://dx.doi.org/10.1038/nature14257>; http://www.researchgate.net/profile/Tomasz_Kaminski2

Dråber skubber til hinanden

MATERIALEFYSIK. Billedet viser nogle væskedråber, der indeholder farvestof, så det er muligt at identificere de enkelte dråber. Det fysisk interessante er de steder, hvor dråber er i "nærkontakt" med hinanden. Det ses tydeligt, at dråber er adskilte, men samtidig påvirker hinanden.



Vand blev tilført varierende mængder af propylenglykol, et stof man tit møder i dagligdagen. Mødtes to vanddråber med samme koncentration af glykol, smeltede de øjeblikkelig sammen. Var der derimod forskel på glykolkoncentrationerne, var der en tendens til, at de nærmest frastødte hinanden, som billedet også antyder.

Vapour-mediated sensing and motility in two-component droplets, N.J. Ciria et al., *Nature*, 2015; Department of Bioengineering, Stanford University

Kvadratisk snefnug

MATERIALEFYSIK. Det hele begyndte med, at forskerne funderede over, hvad der ville ske, hvis man placerede et meget tyndt vandlag mellem to grafenfilm. Er to grafenflader i tæt kontakt (uden vand), vil van der Waals-kræfterne være så stærke, at trykket skal måles i gigapascal. Efter introduktion af vand med en lagtykkelse på nogle få nanometer, var kræfterne fra grafenlagene stadig så stærke, at de kunne bestemme, hvor vandmolekylerne måtte slå sig ned.



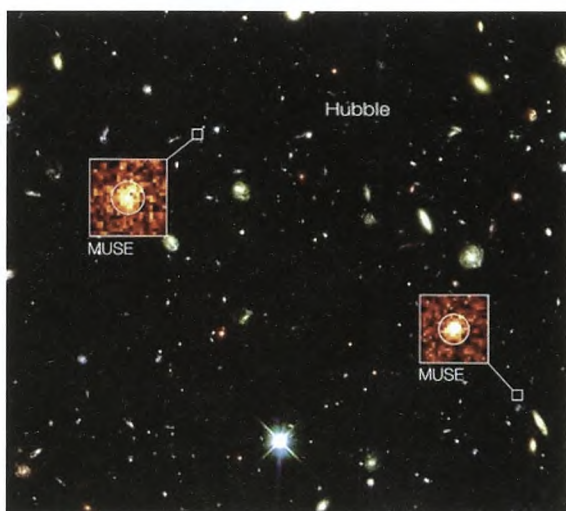
Billedet viser en elektronmikroskop-optagelse, der måler ca. $10\text{ nm} \times 10\text{ nm}$. Man bemærker, hvor velordnet vandmolekylerne har arrangeret sig.

Den struktur, som opstår ved stuetemperatur, betegner forskerne: is/sne. I en større sammenhæng ser forskerne, at de opnåede resultater formentlig kan give bedre forståelse af vands bevægelse i kapillære strukturer. Dem er der som bekendt mange af i biologiske systemer.

Kilder: Square ice in graphene nanocapillaries, G. Algara-Siller et al., *Nature*, 2015, <http://dx.doi.org/10.1038/nature14295>; Gerardo Algara-Siller, Universität Ulm, <http://www.uni-ulm.de>

Ser længere ud end Hubble

KOSMOLOGI. Billedet "Hubble Deep Field South" vakte i 1998 opmærksomhed, fordi det aldrig tidligere var lykkedes at se så langt tilbage i tiden. Nu har ESO's VLT (Very Large Telescope) i en afstand af ca. 12 mia. lysår fundet 20 lyssvage objekter, som end ikke Hubble kunne registrere. Hvor Hubble brugte en eksponeringstid på 10 dage, krævede VLT kun godt et døgn.



Indlejret i det oprindelige Hubble-billedet ses to bokse, forsynet med bogstaverne MUSE. Hermed henvises til et særligt spektroskopisk udstyr (Multi Unit Spectroscopic Explorer), som kan analysere lyset fra de fjerne galakser. Det er herved – som noget helt nyt – lykkedes at lokalisere 189 galakser i denne fjerne del af Universet.

ESO/MUSE Consortium, <http://www.eso.org>

Stål lettere end Titan

MATERIALEFYSIK. Selv inden for områder, der normalt betragtes som meget traditionelle, er der forskere med ultradimensionelle ideer. Selve tanken om at udvikle stål, som har en mindre massefylde er ikke ny. Man har således forsøgt at lave legeringer med aluminium, men dette har endnu ikke været en succes, fordi en sådan metallegering er sprød. De senere år har ambitionen været, at lave stållegeringer, som kan måle sig med titan.

Koreanske metallurger har i en laboratorieovn lavet en legering bestående af jern, mangan, aluminium, kulstof og nikkel under en beskyttende argonatmosfære.



Billedet viser den nye stållegering og titan anbragt på en vægt.

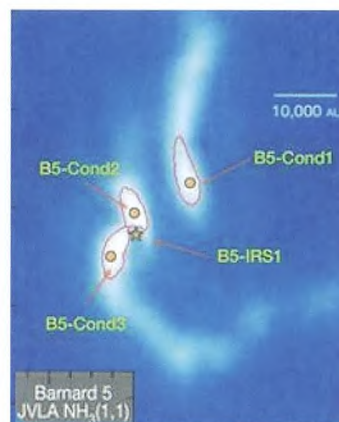
Den videre forarbejdning omfattede varmebehandlinger og valseprocesser. En afsluttende varmebehandling havde den gavnlige virkning, at sprøde domæner blev mindre og mere jævnt fordelt. Med en lidt upræcis terminologi kunne man sige, at legeringen blev "blødere" og lettere at forme.

Brudstyrken kom op på 1 GPa, hvilket er på niveau med titanlegeringer med vanadium og aluminium.

Brittle intermetallic compound makes ultrastrong low-density steel with large ductility, Sang-Heon Kim et al., *Nature*, 2015, <http://dx.doi.org/10.1038/>; Graduate Institute of Ferrous Technology, Postech, Pohang, <http://gift.postech.ac.kr>

4-stjerne-system under dannelse

ASTRONOMI. I en afstand af 800 lysår finder man området Barnard 5, som er udnævnt til at være et sted, hvor stjerner dannes. Over en afstand på 40.000 lysår befinder sig støvansamlinger, der sikkert bliver til stjerner. Selv om de fire stjerner dannes sammen, kan man allerede nu forudsige, at et sådant system ikke er stabilt.

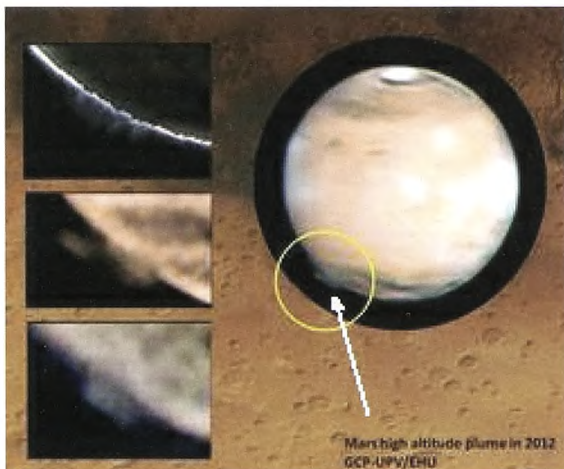


Ved blandt andet at benytte radioteleskoper er det lykkedes at identificere to tætte gasfilamenter nær protostjernen B5-IRS1. I disse filamenter er tre tydelige ansamlinger af stof. Det forventes, at den stofansamling, som er tættest på B5-IRS1, sammen med denne vil danne et dobbeltstjernesystem. Den ene af de to resterende stjerner vil efter forskernes skøn blive katapulteret ud af systemet efter $\frac{1}{2}$ million år.

Kilde: Jaime E. Pineda et al., The formation of a quadruple star system with wide separation, *Nature* 2015

Kæmpesky set på Mars

ASTRONOMI. Der er observeret en sky på Mars, som nåede op i en højde af 250 km. At der er sand- og støvstorme på planeten er ikke nogen nyhed, men det der giver anledning til undren, er skyens højde. Eller anderledes udtrykt: Man kan ikke give nogen overbevisende forklaring på, hvorfor der dannes en så kolossal sky.



I ét tilfælde var skyen synlig i 10 dage, men den udviste tydelige fluktuationer over nogle få timer.

Den første sky optrådte i tidsrummet fra den 12.-23. marts 2012. I samme område kom der igen en sky mellem den 6.-16. april samme år.

En gennemsøgning af Hubble Teleskopets arkiver og databaser, foretaget af foreninger for amatørastrofysikere i Frankrig og Japan, førte til noget, der ligner. Fotoet er taget den 17. marts 1997, men ingen supplerende data foreligger.

Kilde: A. Sánchez-Lavega et al., An extremely high-altitude plume seen at Mars's morning terminator, *Nature* 2015, <http://dx.doi.org/10.1038/nature14162>; Agustín Sánchez-Lavega, <http://www.ajax.ehu.es>.

Historisk forbiflyvning af Pluto

ASTRONOMI. NASAs rumsonde "New Horizons" passerede forbi dværgplaneten Pluto den 14. juli 2015. Rumsonden blev opsendt i januar 2006 og har altså rejst i ca. 9,5 år. Med en fart på knap 50.000 km/t blev forbiflyvningen relativt kortvarig.

De første sort/hvid-billeder, der blev offentliggjort, viste nogle mystiske mørke områder, der var næsten 500 km i diameter. Billedet herunder viser Pluto med farver.



Ved forbiflyvningen blev Plutos masse og diameter (2370 km) bestemt mere nøjagtigt. Overfladen består mest af N₂, CH₄ og CO. Nogle steder er overfladen kulsort, andre steder mørk orange eller hvid. Det store hjerteformede område, kaldet "Tombaugh Regionen", tiltrak sig stor opmærksomhed i medierne. De store forskelle i farve og struktur – og manglen på kratere – tyder på, at der er processer som forandrer overfladen. Forskerne mener, at der kan eksistere flydende vand i et over 100 km tykt lag, mellem den øverste skorpe af frossen nitrogen og den indre klippekerne, der afgiver varme fra radioaktive henfald. Plutos måner og atmosfære blev også observeret.

Kilde: NASA og Wikipedia.

MCA

Første dansker i rummet

RUMFART. Den danske ESA-astronaut Andreas Mogensen blev opsendt til Den Internationale Rumstation (ISS) onsdag den 2. september kl. 6:37 dansk tid. Det foregik med en russisk Sojuz-raket fra rumbasen Baikonur i Kasakhstan. Opsendelsen foregik helt efter bogen, men dockingen med ISS måtte vente 51 timer, før rumskibets bane var korrekt.



Andreas Mogensen (f. 1976) er civilingeniør og ph.d. og har arbejdet i rumindustrien i mange år. Han var én af de blot seks heldige, blandt 8.413 ansøgere, da ESA udvalgte nye astronauter i 2009. Siden da er han blevet uddannet til astronaut og har trænet til missionen. På missionen skulle Andreas udføre videnskabelige og tekniske forsøg i vægtløshed. Han afprøvede bl.a. en ny rumdragt med trykpunkter, som skal afhjælpe ondt i ryggen; en membran til vandrensning; en prototype af *Google Glass*, der letter kommunikationen med Jorden og meget mere. Han fik også kigget på Jorden og fotograferede både lyn oppefra og Danmark i klart vejr.

Oprindeligt skulle han have været 10 dage ombord på ISS, men pga. den længere tur op til ISS blev missionen forkortet til 8 dage. Men Andreas nåede alle eksperimenterne alligevel. Landingen, som fandt sted natten til lørdag den 12. september, gik også efter bogen.

Under opsendelsen var *Industriens Hus* vært for et morgenmøde, hvor et par hundrede mennesker overværede begivenheden i en live transmission på storskærm. Her blev Danmarks engagement i ESA (ca. 200 mio. kr/år) omtalt som et godt investeringsområde, idet pengene kommer 4-5 gange igen. I dag er der omkring 730 arbejdspladser i Danmark indenfor rumindustrien, særligt indenfor rumbaserede tjenester som gps og jordobservation.

Videnskabsminister Esben Lunde Larsen var helt tæt på den danske astronaut, da han gik ombord på raketten sammen med to russiske kosmonauter. Han citerede H.C. Andersens "At rejse er at leve", og det har Andreas Mogensen i den grad udvidet betydningen af.

Den store interesse for rummet, som Danmarks nye astronaut inspirerer til, følges bl.a. op af en international konkurrence for unge (7-22 år) under navnet "Odysseus".

Kilde: Live transmission i Industriens Hus; ESA; ESA-folder om iriss-missionen og Andreas Mogensen; www.rumrejsen.dk; Odysseus-konkurrence, <http://www.odysseus-contest.eu/da/>.

MCA

Klimaforandringer set gennem FN's klimapanel

5. hovedrapport

Af Jens Hesselbjerg Christensen, Danmarks Meteorologiske Institut

“Klimasystemets opvarmning er utvetydig, og siden 1950'erne er mange af de observerede ændringer uden fortilfælde over årtier og helt op til årtusinder. Atmosfæren og havene er blevet varmere, mængderne af is og sne er reduceret, havniveauet er steget, og koncentrationen af drivhusgasser er øget. Menneskets indflydelse på klimasystemet er tydelig. Dette fremgår klart af de stigende koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren, den positive strålingspåvirkning, den observerede opvarmning og forståelsen af klimasystemet. Kumulative udledninger af CO₂ er i høj grad bestemmende for den gennemsnitlige globale overfladeopvarmning i det sene 21. århundrede og derefter. De fleste aspekter af klimaforandringerne vil vare ved i mange århundreder, selvom udledningen af CO₂ standses. Dette medfører betydelige, uundgåelige klimaforandringer over flere århundreder, skabt af tidligere, nuværende og fremtidige udledninger af CO₂.” [FN's klimapanel 2013]

FN's klimapanel (IPCC¹) er et mellemstatsligt organ, der blev oprettet af FN's særorganisationer for meteorologi (WMO) og miljø (UNEP) i 1988 med det formål at forsyne verden med en klar videnskabelig vurdering af aktuel viden om klimaforandringer og deres potentielle miljømæssige og samfundsøkonomiske konsekvenser. Hovedaktiviteten er med regelmæssige mellemrum at udgive vurderingsrapporter om den naturvidenskabelige viden om klimaforandringer, om klimatilpasning og om modvirkning af klimaforandringerne. Klimapanelet udfører ikke selv forskning, men vurderer den eksisterende viden og litteratur. Panelets rapporter understøtter arbejdet under FN's Klimakonvention (UNFCCC²). Arbejdet er således politisk relevant som information for beslutningstagere, men IPCC kommer ikke selv med politiske anbefalinger. Rapporterne gennemgår en omfattende og transparent høringsproces blandt faglige eksperter fra hele verden for at sikre en høj videnskabelig standard. I den afsluttende godkendelsesproces anerkender regeringsrepræsentanter i overensstemmelse med rapporternes hovedforfattere det videnskabelige indholds autoritet og sikrer, at rapporten er relevant, balanceret og forståelig for beslutningstagere. Denne arbejdsproces skal sikre IPCC's status som en unik og autoritativ kilde til omfattende, afbalanceret videnskabelig information til beslutningstagere.

Det er nu 27 år siden IPCC blev oprettet. Siden da er det blevet til fem store vurderingsrapporter i hhv. 1990, 1995, 2001, 2007 og senest i 2014. I slutningen af september 2013 udkom den første af klimapanelets i alt tre hovedværker i den 5. runde af vurderingsrapporter. Det drejede sig om bidraget, som omhandler den fysiske side af forståelsen af klimasystemet. Den var første skridt på vejen, der gør status over alt, hvad vi ved om Jordens klima, effekterne af klimaforandringer og om mekanismer til modvirkning af og tilpasning til klimaændringer. Sidste, afsluttende syntese udkom efter et møde i København i oktober 2014.

Hele processen startede med en “scoping”-runde, hvor IPCC-medlemslandenes embedsmænd fremsender en slags bestillingsliste over det indhold, man gerne ser vurderet i den kommende rapport. Det sker efter nationale konsultationer med regeringer og i dialog med fagfolk i medlemslandene. Herefter arbejder det tekniske støttebureau og arbejdsgruppernes co-chairs på at få så lang en liste som muligt med forfattere at vælge fra. Dette sker ved, at de nationale focal points (i Danmark er dette ved DMI) inviterer forskere fra de respektive lande til at byde ind med deres CV med henblik på at blive nomineret. Det kræver altså, at man kan dokumentere en vis faglig indsigt indenfor området, for at komme i betragtning. Co-chairs får så en opgave med at vælge forfattere, som ud over den faglige kompetence tager hensyn til geografisk spredning og et ønske om at have en fair balance mellem mandlige og kvindelige forfattere repræsenteret. Ligeledes er der et stærkt ønske om at have en betydelig andel af forfattere, som ikke er gengangere fra tidligere rapporter. Dog er der behov for en hvis form for procesforståelse, hvorfor hele forfattergruppen ikke skiftes ud hver gang. Herefter kan arbejdet med at skrive gå i gang. De enkelte kapitler har mellem ti og tyve forfattere med komplementerende kompetencer. Hvert kapitel skrives selvstændigt, men med en masse koordination, som typisk finder sted på et af de programsatte forfattermøder. Her drøftes også hvordan man håndterer de forskellige review kommentarer, som kommer ind. Der er to formelle review runder, første gang med faglige eksperter, i anden runde er også regeringernes embedsmænd eller udvalgte eksperter med som reviewere. Alle review kommentarer besvares detaljeret, og det betyder for mange kapitler en næsten lige så lang responsliste, som kapitlet selv. Der kan rask væk være 1500-2000 kommentarer, som skal behandles. Alle kommentarer og besvarelser kan tilgås via IPCC og er altså fuldt tilgængelige³. Undervejs i kapitelskrivningen, påbegyndes resuméet for beslutningstagere. Det er vigtigt

¹Intergovernmental Panel on Climate Change, www.ipcc.ch

²United Nations Framework Convention on Climate Change, <http://newsroom.unfccc.int>

³Climate Change 2013: The Physical Science Basis, <http://www.climatechange2013.org/report/drafts-and-review-materials/>

at de enkelte kapitler er leveringsdygtige i vurderings-udsagn, der kan sammenfattes i dokumentet "Summary for policy makers", som resuméet udgør. Til at skrive resuméet deltager typisk to eller tre af de enkelte kapitlers forfattere. Resuméet skal jo bygge på den underliggende rapport. Resuméet har videre sin egen review proces og kommer to gange forbi regerings-apparatet. Den endelige version bliver til ved, at den kladde, som har været i review på en plenarforsamling fremlægges i en revideret udgave, som tager hensyn til de indkomne review kommentarer. Dette møde sker for lukkede døre, da dokumentet gennemskrives, så regeringernes embedsmænd kan acceptere den ordlyd, forfatterne kommer med. Der er ikke egentlig vetoret, men der kan blive forhandlet længe om enkelte formuleringer. Langt de fleste omskrivninger gør sproget lettere forståeligt for ikke-eksperter. Men en sjælden gang er der tekst, som ikke er præcist nok formuleret eller, hvor der hersker begrundet usikkerhed om det udsagn forfatterne har lagt op til. Så bliver den underliggende tekst gransket igen og en passende formulering fundet. Hidtil er man altid nået til enighed – vel at mærke så også forfatterne kan sige god for ordlyden. Det er altså ikke embedsmændene, som skriver resuméet. Skulle de ønske at få en tekst igennem, så skal forfatterne kunne sige god for det, og materialet i den underliggende rapport skal naturligvis kunne bakke op om udsagnet.

Når hele resuméet har været en tur igennem denne linje for linje gennemgang, siger man, at resuméet er godkendt. Samtidig accepteres den underliggende rapport, som jo egentlig er den videnskabelige del af affæren. Jeg har personligt været med til tre af disse godkendelsesmøder, og det er min erfaring, at tekstforhandlingerne virkelig er nyttige i forhold til formuleringerne. Hvis man læser godt efter, kan man godt se, hvor der har været større ønsker om andre formuleringer. Her er der typisk forskellige modsat rettede forslag fra enkelte lande. Det kunne være England på den ene side og Saudi Arabien på den anden. Den forhandlede kompromistekst er så ikke altid så skøn og letlæselig. Men ordlyden står alligevel frem, så man ikke kan give forskellige fortolkninger af teksten. Alt i alt er jeg ret imponeret over den respekt, der er for forfatternes arbejde i samtlige IPCC-medlemslande. Det er derfor jeg selv tror, at IPCC-rapporterne i langt de fleste lande er meget centrale dokumenter ved klimaforhandlinger og i forbindelse med klimatilpasningsarbejdet.

I det følgende gives et sammendrag af de væsentlige pointer fra den 1. delrapport [1], hver med en underbygning bestående af den information, som fører til den pågældende pointe. Det kan af pladshensyn kun blive for nogle udvalgte områder, at dette kan gøres i nogen egentlig dybde. Jeg har valgt at koncentrere mig om den del af rapporten, som leder frem til de stærke udsagn om, at "Menneskets indflydelse på klimasystemet er tydelig". Men hovedbudskaberne kan læses flere steder og hele argumentationen findes naturligvis i den fulde rapport på over 1500 sider [1]; (en dansk oversættelse af resumé for beslutningstagere findes på DMI's hjemmeside⁴).

Angivelsen af usikkerheden for centrale resultater er naturligvis centrale i vurderingsarbejdet og er baseret på forfatternes vurdering af den underliggende videnskabelige forståelse og udtrykkes kvalitativt som et konfidensniveau (fra *meget lavt* til *meget højt*) og, når det er muligt, med en sandsynlighedsangivelse (fra *exceptionelt usandsynligt* til *i realiteten sikkert*). Tilliden til et resultats validitet er baseret på typen, mængden, kvaliteten og pålideligheden af den viden, der ligger til grund (fx data, mekanistisk forståelse, teori, modeller, ekspertvurdering) og graden af enighed, de forskellige metoder imellem. Jeg har valgt ikke at angive usikkerheder og i stedet angivet centrale værdier, men henviser i øvrigt til selve IPCC-rapporten.

Observerede ændringer i klimasystemet

"Klimasystemets opvarmning er utvetydig, og siden 1950'erne er mange af de observerede ændringer uden fortilfælde over årtier og helt op til årtusinder. Atmosfæren og havene er blevet varmere, mængderne af is og sne er reduceret, havniveauet er steget, og koncentrationen af drivhusgasser er øget." [1].

Disse udsagn er alle baseret på observationer baseret på direkte målinger og telemålinger fra satellitter og andre platforme som fly og skibe. De meteorologiske tjenester har samlet set været i stand til at levere et nogenlunde verdensomspændende netværk af instrumentale målinger siden midten af 1800-tallet for primært temperatur, men også andre meteorologiske parametre. Fra omkring 1950 og fremefter er mere omfattende sæt af observationer blevet tilgængelige. Hertil kommer, at en række palæoklimatiske rekonstruktioner udvider datagrundlaget med fra hundrede til millioner af år bagud i tiden. Tilsammen giver disse data et omfattende indblik i variabiliteten af de langsigtede ændringer i atmosfæren, havene, kryosfæren (is og sne på land, under overfladen og på hav) og ved jordoverfladen.

Atmosfæren nær jordoverfladen

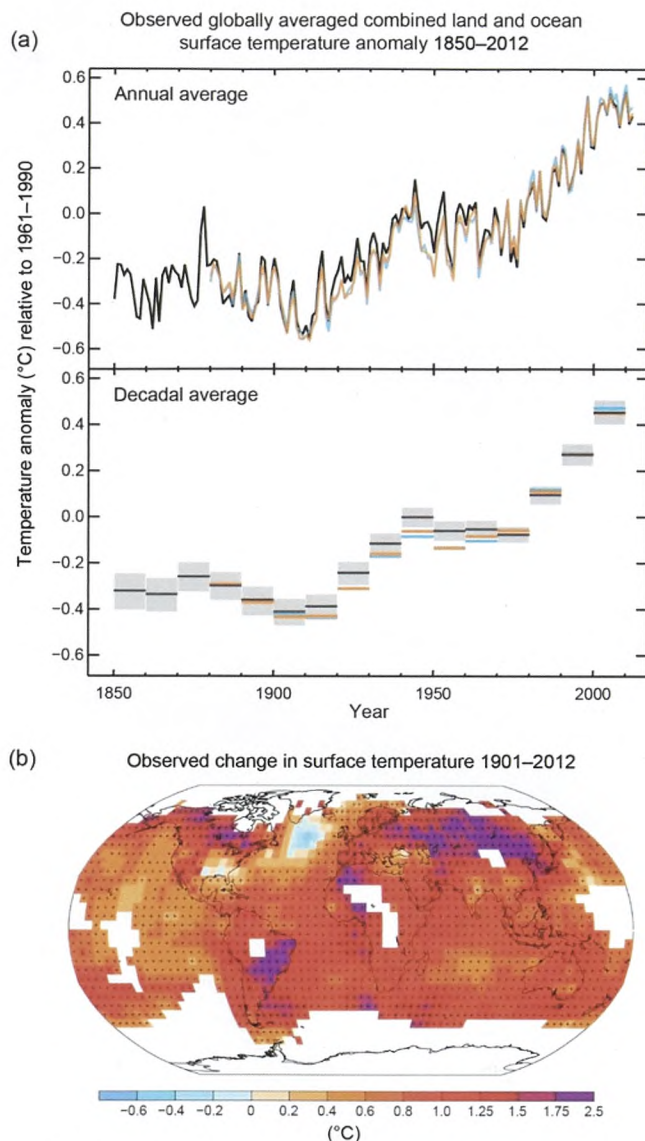
Den centrale figur, når det handler om global opvarmning, er gengivet i figur 1. De dataserier, som ligger til grund, er sammenstykket af forskellige forskergrupper. Selv om de i høj grad bygger på de samme grundlæggende observationer, indeholder datasættene ikke helt de samme oplysninger. Hertil kommer, at processen med at lave en årsmiddelværdi benytter lidt forskellige metodikker, især til at håndtere områder uden data (de hvide områder på figur 1b).

De tre datasæt stammer fra hhv. Hadley Centret i England [2] og NCDC og GISS [3] og [4], begge i USA. Det fremgår, at forskellene imellem de tre datasæt er væsentlig mindre end både udsvingene fra år til år og trenden over perioden.

Foruden tydelig opvarmning over flere årtier udviser den globale middelovertemperatur store variationer mellem årtier og fra år til år. På grund af den naturlige variabilitet er tendenser baseret på korte dataserier meget følsomme over for start- og sluttidspunkter, og afspejler generelt ikke langsigtede klimatendenser. Som

⁴http://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/DKC/Klimaforandringer_2013__dansk.pdf

eksempel var opvarmningshastigheden $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ pr. årti over perioden 1998-2012, som indledtes med en kraftig El Niño. Dette er mindre end hastigheden for 1951-2012, som var $0,12\text{ }^{\circ}\text{C}$ pr. årti. Med et ti-års tidsfilter hen over temperaturkurven, så står det seneste årti derimod i stærk kontrast til de forgående tre årtier ved at være markant varmere, og samtidig viser denne figur, at hvert af de foregående tre årtier har været varmere end det foregående.



Figur 1. (a) Den observerede globale middelværdi af temperaturanomalier for land og havoverfladen for perioden 1850-2012 fra tre datasæt. Øverste diagram: årlige middelværdier. Nederste diagram: middelværdier over ti år inklusive usikkerhedsintervallet for ét datasæt (sort). Afvigelser er i forhold til middel for 1961-1990. (b) Kort over observerede ændringer i overfladetemperatur fra 1901 til 2012 baseret på temperaturtendenser bestemt ved lineær regression fra ét datasæt (orange kurve i diagram a). Tendenser er beregnede, hvor datatilgængelighed tillader et solidt skøn (dvs. kun for gitterbokse med over 70 % komplette registreringer og mere end 20 % datatilgængelighed i de første og sidste 10 % af tidsperioden). Andre områder er hvide. Gitterbokse, hvor tendensen er signifikant ved 10 %-niveauet, er angivet med et +. Fra [1].

En lang række palæoklimatiske rekonstruktioner af overfladetemperaturer på kontinentalt plan (IPCC-rapporten sammenstiller og vurderer materiale fra mere

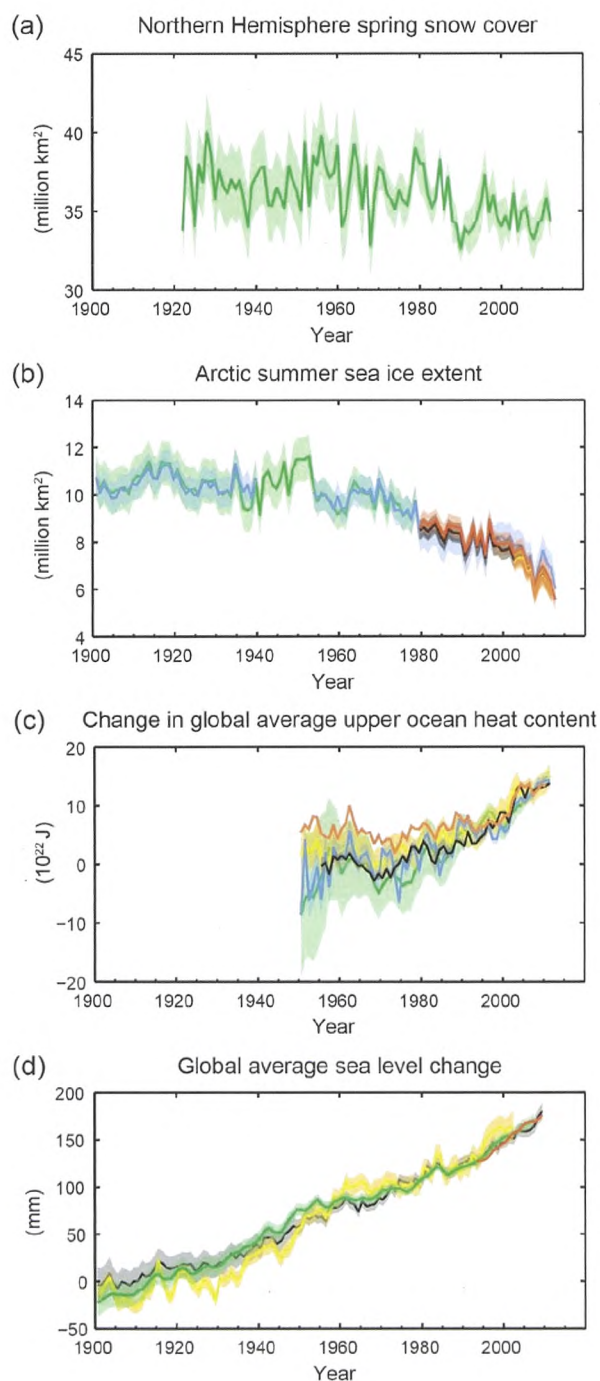
end ti forskellige analyser) viser med *stor sikkerhed* perioder på flere tiår i middelalderen (her perioden 950-1250), hvor nogle områder var lige så varme som i de sidste årtier. Men disse regionale varmeperioder optrådte ikke så sammenhængende på tværs af regioner som opvarmningen igennem de sidste årtier. Dermed kan man udvide udsagnet om det varmeste årti ovenfor til at række længere tilbage. På den nordlige halvkugle var 1983-2012 *sandsynligvis* den varmeste 30-års periode i de sidste 1400 år (*middel sikkerhed*).

Ændringer i havene og kryosfæren

Opvarmning af havene dominerer forøgelsen af energi ophobet i klimasystemet og står for over 90 % af den energi, der er akkumuleret mellem 1971 og 2010 (*stor sikkerhed*). Det er i realiteten sikkert, at den øverste del af havene (0-700 m) blev varmere fra 1971 til 2010, og *sandsynligvis* blev varmere mellem 1870'erne og 1971. Et væsentligt bidrag til at kunne sige dette med *stor sikkerhed* kommer fra, at en række systematiske fejl i registreringer af temperaturen i den øverste del af havene er fundet og siden reduceret.

En væsentlig konsekvens af opvarmning af havene er havniveaustigninger. Dette er en velforstået fysisk proces, som skyldes den volumenforøgelse af vand, som resulterer af en opvarmning. Regnestykket er ikke helt ligetil, da udvidelsen bl.a. afhænger af temperatur, saltholdighed og trykforhold af den givne vandmasse. Men forestiller man sig, at hvis al indlandsisen på Grønland smelter, er der her vand nok til, at havene i middel vil stige med omkring 7 meter. Tilsvarende er der til omkring 70 meter gemt på Antarktis. Da mængden af is og sne samtidig er indikatorer for temperaturen lokalt set, er ændringer i kryosfæren meget vigtige at følge for at forstå klimaændringerne.

Udbredelsen af sne og havis er over tid indikatorer på temperaturen i Arktis. Siden 1979 er der pålidelige satellitmålinger, som kan give detaljeret information om udbredelsen af sne og is globalt. Baseret på disse data og *in situ*-baserede datasæt samt historiske overleveringer finder man, at den årlige middeldybde af den arktiske havis aftog i perioden 1979-2012 med en hastighed, som *meget sandsynligt* lå i størrelsesordenen 3,5 til 4,1 % pr. årti (et område på 0,45 til 0,51 millioner km^2 pr. årti) og *meget sandsynligt* i størrelsesordenen 9,4 til 13,6 % pr. årti (et område på 0,73 til 1,07 millioner km^2 pr. årti) for havisminimum om sommeren (flerårig havis). Det gennemsnitlige fald i tiårs midler af den arktiske havisudbredelse har været størst om sommeren (*stor sikkerhed*); den geografiske udbredelse er aftaget på alle årstider og i hvert årti siden 1979 (*stor sikkerhed*), hvilket er vist på figur 2. Hvad angår snedække, så er der *meget stor sikkerhed* for, at udbredelsen af snedækket på den nordlige halvkugle aftog med 1,6 % pr. årti for marts og april (maksimum udbredelse) og med 12 % per årti for juni (typisk sidste måned med betydeligt snedække) i perioden 1967-2012. I denne periode viste snedækkets udbredelse på den nordlige halvkugle ikke en statistisk signifikant forøgelse i nogen måned.



Figur 2. Forskellige observerede indikatorer for globale klimaforandringer: (a) den gennemsnitlige udbredelse af (forårs-) snedækket på den nordlige halvkugle i marts-april, (b) den gennemsnitlige udbredelse af den arktiske havis i juli-august-september (sommer), (c) ændring i det globale gennemsnitlige varmeindhold i den øverste del af havene (0-700 m) afstemt til 2006-2010 og i forhold til gennemsnittet for alle datasæt for 1970, (d) globalt middelhavniveau i forhold til 1900-1905-gennemsnittet i det længstvarende datasæt og med alle datasæt afstemt til den samme værdi i 1993, det første år med satellitaltimetridata. Alle tidsreier (farvede linjer angiver forskellige datasæt) viser årlige middelværdier, og hvor de er vurderet, angives usikkerheder med farvet skyggelegning. Fra [1]

Viden om massetabene fra de store iskapper stammer i det væsentlige fra satellitbaserede målinger. Det er muligt både at måle massen af iskapperne såvel som at bestemme overfladens højde over havet ganske nøjagtigt på baggrund af data fra forskellige satellit-

sensorer. Baseret på flere forskellige analyser af disse data er det vurderet, at den gennemsnitlige tabsrate fra Grønlands iskappe *meget sandsynligt* er øget betydeligt fra omkring 35 Gt/år i perioden 1992-2001 til 215 Gt/år i perioden 2002-2011. Den gennemsnitlige tabsrate fra Antarktis' iskappe er *sandsynligvis* øget fra 30 Gt/år i perioden 1992-2001 til omkring 150 Gt/år i perioden 2002-2011. Der er *meget stor sikkerhed* for, at disse tab overvejende er fra den nordlige Antarktiske Halvø og Amundsenhavet-sektoren af Vestantarktis.

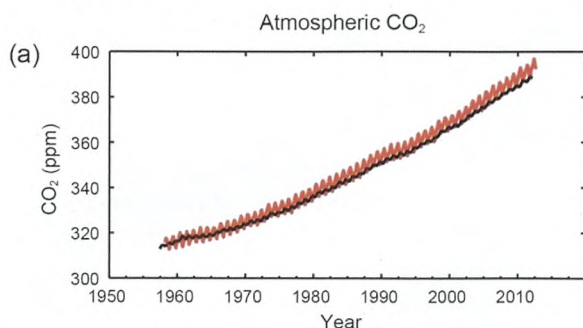
Med informationen fra den termiske vandudvidelse, massetabet fra iskapperne og tilsvarende tab fra andre gletsjere kan den samlede ændring i havniveauet beregnes til et givet tidspunkt. Som tilfældet med temperaturen, så findes der også gode indikatorer (proxyer) for vandstand fra før egentlige målinger. Proxydata og måledata for havniveauet viser et skifte fra relativt lave gennemsnitlige stigningsrater gennem de to forudgående årtusinder til højere stigningsrater omkring skiftet mellem det 19. og 20. århundrede (*stor sikkerhed*). Det er *sandsynligt*, at stigningsraten for middelhavniveauet på globalt plan til stadighed er øget siden begyndelsen af 1900-tallet. Hastigheden af stigningen i havniveauet siden midten af det 19. århundrede har været større end den gennemsnitlige hastighed i de to foregående årtusinder (*stor sikkerhed*). I perioden 1901-2010 steg middelniveauet på globalt plan med ca. 0,19 m.

Baseret på proxydata er det videre muligt at vurdere havniveauet i den sidste mellemistid (for 129.000 til 116.000 år siden). Der er *meget stor sikkerhed* for, at det maksimale middelhavniveau var 5 meter højere end nu gennem adskillige tusind år, og *stor sikkerhed* for, at det ikke nåede højere end 10 m over det nuværende niveau. Det er *meget sandsynligt* at Grønlands Indlandsis bidrog med mellem 1,4 og 4,3 m til det højere globale middelhavniveau, hvilket indikerer et ekstra bidrag fra Antarktis (*middel sikkerhed*). Denne ændring af havniveauet skete på et tidspunkt, hvor Jordens bane og position i forhold til Solen var anderledes, og hvor overfladetemperaturen på høje breddegrader midlet over flere tusinde år, var mindst 2 grader varmere end præ-industrielt (*stor sikkerhed*).

Kulstof-kredsløbet

Målinger af luftens indhold af forskellige drivhusgasser, som er repræsentative for den frie atmosfære, har været foretaget med stor nøjagtighed siden midten af sidste århundrede. Iskerner, som er udtaget fra Antarktis og analyseret for indholdet af en række atmosfæriske luftarter ved at undersøge små indesluttede luftbobler giver med god tidsopløsning information om atmosfærens sammensætning tilbage i tiden. Ved at undersøge den isotopiske sammensætning af de luftarter, som måles, er det muligt at fastslå oprindelsen af de indgående molekyler. Baseret på disse data kan man sige, at de atmosfæriske koncentrationer af kuldioxid (CO_2), metan og lattergas er steget til niveauer, der er uden fortilfælde gennem de seneste 800.000 år eller mere. CO_2 -koncentrationen er steget med 40 % siden industrialiseringens begyndelse, primært pga. udledninger fra fossile brændstoffer. Havene har absorberet ca. 30 % af den menneskeskabte kuldioxidudledning.

Figur 3 sammenfatter ændringerne i atmosfærens CO₂-koncentration fra moderne målinger. Det nuværende niveau skal sammenholdes med niveauet igennem de foregående 800.000 år, typisk mellem 200 og 280 parts per million (ppm; eller antallet af CO₂-molekyler per million luftmolekyler), som er den enhed man benytter til at angive koncentrationen.



Figur 3. Forskellige observerede indikatorer for ændringer i det globale kulstofkredsløb: (a) atmosfæriske koncentrationer af kuldioxid (CO₂) fra Mauna Loa (19°32'N, 155°34'V – rød) og Sydpolen (89°59'S, 24°48'V – sort) siden 1958. Fra [1]

Påvirkningsfaktorer, der leder til klimaforandringer

Naturlige og menneskeskabte stoffer og processer, som ændrer Jordens energibudget, er påvirkningsfaktorer, der leder til klimaforandringer. Strålingspåvirkning (radiative forcing; RF) kvantificerer ændringen i energifluxen forårsaget af ændringer i forskellige påvirkningsfaktorer. Positiv RF leder til overfladeopvarmning, negativ RF leder til overfladeafkøling. RF vurderes på basis af *in-situ*- og telemålinger, drivhusgasser og aerosolers egenskaber samt beregninger ved hjælp af numeriske metoder, som repræsenterer observerede processer. Nogle udledte kemiske forbindelser påvirker den atmosfæriske koncentration af andre stoffer. RF kan angives på basis af koncentrationsændringerne for hvert enkelt stof.

Det er med andre ord et ret komplekst samspil imellem naturligt forekommende processer, som kan lede til klimaforandringer og de påvirkninger, som oprinder af menneskelig aktivitet. Men baseret på en vurdering af de enkelte bidrag til strålingspåvirkningen finder man, at den totale strålingspåvirkning er positiv og har ført til en optagelse af energi i klimasystemet. Det største bidrag til den totale strålingspåvirkning skyldes stigningen i atmosfærens koncentration af CO₂ siden 1750. De enkelte bidrag er vurderet og fremgår af figur SPM.5 i resuméet for beslutningstagere [1].

Forståelsen af klimasystemet og dets seneste ændringer

Forståelsen af de nylige ændringer i klimasystemet beror på en kombination af observationer, studier af feedbackmekanismer og modelsimuleringer. Vurderingen af klimamodellers evne til at simulere nylige ændringer kræver overvejelser om tilstanden af alle modellerede dele af klimasystemet ved simuleringens start og de naturlige og menneskeskabte påvirkninger, der anvendes til at drive modellerne igennem forløbet siden den industrielle revolution. Detaljerede og lange observationsserier sammen med forbedrede klimamodeller gør det nu muligt at tilskrive et menneskeligt bidrag til

påviste ændringer i flere af klimasystemets komponenter og ikke blot tale om global temperatur. Baseret på denne type af sammenbragt information kan man nu sige, at menneskets indflydelse på klimasystemet er tydelig. Dette fremgår af de stigende koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren, den positive strålingspåvirkning, den observerede opvarmning og forståelsen af klimasystemet. Det er naturligvis vigtigt at have en forståelse for kvaliteten af de enkelte bidrag, som leder til en sådan vurdering. Her udgør ikke mindst kvaliteten af klimamodeller, som anvendes intenst i klimaforskningen, en vigtig grundsten. Jeg vil derfor koncentrere mig om at belyse nogle af de styrker og svagheder, man finder ved en nærmere analyse af klimamodellers formåen i forhold til at gengive det observerede klimasystem. Andre har forholdt sig mere personligt til emnet i KVANT [5], [6]. Her vil jeg blot først fremhæve, at de klimamodeller, der ligger til grund for IPCC-vurderingerne er meget avancerede og ikke lader sig beskrive i nogen væsentlig detalje her. Disse modeller er resultatet af større eller mindre bidrag fra ofte flere hundreder af videnskabsfolk med ekspertiser indenfor mange forskellige fysik-, kemi- og biokemidiscipliner. Det er i denne kontekst afsnittet skal læses.

Vurdering af klimamodeller

På verdensplan findes i dag omkring 40 forskellige såkaldte generelle cirkulationsmodeller (GCM'er). De er ikke fuldstændigt uafhængige af hinanden, og forskellige forskningscentre anvender flere af modellerne. Totalt set er der omkring 20 større grupper på verdensplan, som til stadighed arbejder med at forbedre modellernes kvalitet, både på procesniveau og ved valg af numeriske metoder. Begyndelsesbetingelser til modelkørsler tages fra observerede forhold og modellerne udregner fra denne tilstand sit eget modelklima ud. Det er ikke en del af modeludvikling at arbejde med at fodre observationer ind i modellerne – en pointe er netop, at modellerne er fysisk baseret og derfor udregner alle forhold ud selv, både i historisk perspektiv og når der skal laves scenarier for fremtiden. De bliver derfor ikke fittet mod observationer; en styrke fordi man så kan vurdere kvaliteten af modellerne ud fra performance, en svaghed fordi der altid vil være afvigelser fra det observerede klima, der så skal gøres rede for på et fysisk grundlag.

Modellerne reproducerer nu observerede overflade-temperaturmønstre og -tendenser på kontinentalt plan over mange årtier, herunder den hurtigere opvarmning siden midten af det 20. århundrede og afkølingen, der følger umiddelbart efter store vulkanudbrud (*meget stor sikkerhed*). De langsigtede klimamodellsimuleringer viser en tendens for den gennemsnitlige globale overfladetemperatur fra 1951 til 2012, som stemmer overens med den observerede tendens (*meget stor sikkerhed*). Der er dog forskelle mellem simulerede og observerede tendenser over perioder så korte som 10 til 15 år (fx 1998 til 2012). Den observerede reduktion i tendensen af overfladeopvarmningen i perioden 1998-2012 sammenlignet med perioden 1951-2012 skyldes i stort set lige høj grad en reduceret tendens i strålingspåvirkningen og et afkølede bidrag fra intern variabilitet,

som inkluderer en mulig omfordeling af varme i have-⁵ (*middel sikkerhed*). Der er *middel sikkerhed* for, at forskellene mellem observationer og simuleringer for en stor dels vedkommende skyldes intern dekadisk variabilitet, idet simuleringer ikke må forventes at reproducere den rigtige timing af denne i form af varme- eller kuldeperioder. Der kan også være et bidrag fra mangelfuld beskrivelse af påvirkninger og, i nogle modeller, en overvurdering af reaktionen på øgningen af drivhusgasser og anden menneskeskabt påvirkning (domineret af effekten af aerosoler). Sikkerheden i modellernes evne til at simulere overfladetemperaturer er mindre på regionalt plan, end når der er tale om større skala. Tilsvarende gengiver en række modeller nu nogle vigtige klimafænomener bedre. Der er *stor sikkerhed* for, at statistikkerne for monsunen og El Niño – Sydlige Oscillation (ENSO) er forbedret i dagens modeller. Disse fænomener er vigtige at repræsentere realistisk, fordi de påvirker klimaet over store geografiske områder. Der er ligeledes solidt bevis for, at den nedadgående tendens af udbredelsen af arktisk sommerhavis siden 1979 nu gengives af flere modeller. Der har været væsentlige fremskridt med hensyn til vurderingen af ekstreme vejr- og klimahændelser. Simulerede tendenser af den globale middel af hyppigheden af ekstremt varme og kolde dage og nætter, i sidste halvdel af 1900-tallet, stemmer generelt overens med observationerne. Der er også sket en vis forbedring af simuleringen af nedbørsmønstre på kontinentalt plan. På regionalt plan simuleres nedbør ikke lige så godt, men vurderingen hæmmes af usikkerhederne i observationerne. I modsætning til temperaturer, som for punktmålinger ofte er repræsentative for tusinder af kvadratkilometer, varierer nedbørsintensitet ganske meget lokalt, så mange steder er den observerede nedbør faktisk ikke særlig godt bestemt.

Kvantificering af klimasystemets respons

Observations- og modelbaserede studier af temperaturændringer, klima-feedbackmekanismer og ændringer i Jordens energibudget giver tilsammen sikkerhed mht. størrelsesordenen af den globale opvarmning som reaktion på tidligere og fremtidig påvirkning. Som før nævnt er såvel mængden som kvaliteten af målinger, der nu er til rådighed betydelig bedre end for et årti siden. Baseret på disse forbedrede data kan det siges, at nettoresponsen på den kombinerede effekt af ændringer i vanddampindholdet og forskelle mellem opvarmningen af atmosfæren og overfladen er *ekstremt sandsynligt* positiv og forstærker derfor ændringer i klimaet. Det er *sandsynligt*, at nettostrålingsresponsen som følge af kombination af alle skytyper er positiv. Usikkerhed med hensyn til fortegnet og størrelsen af feedback fra skyerne skyldes primært usikkerhed om opvarmningsindflydelse på lave skyer. Skyers meget ujævne geografiske fordeling i atmosfæren vanskeliggør beregningen af den fulde effekt.

For at vurdere, hvordan klimaet over tid responderer på en ændret strålingspåvirkning har man defineret en størrelse kaldet ligevægtsklimafølsomheden. Den

kvantificerer klimasystemets respons på en konstant strålingspåvirkning på en tidsskala på flere århundreder. Den defineres som ændringen i den gennemsnitlige globale ligevægtstemperatur ved overfladen forårsaget af en fordobling af CO₂-koncentrationen i atmosfæren. Det er *sandsynligt*, at ligevægtsklimafølsomheden ligger i området 1,5 °C til 4,5 °C (*stor sikkerhed*), *ekstremt usandsynligt*, at den er under 1 °C (*stor sikkerhed*) og *meget usandsynligt*, at den er over 6 °C (*middel sikkerhed*). Ligevægtsklimafølsomheden kan estimeres ud fra forskellige analyser. Navnlige: i) direkte fra klimamodeller, ii) udledes af feedbackmekanismer i klimamodeller, iii) mønstre af gennemsnitligt klima og variabilitet, iv) rekonstruering fra palæoklimatiske arkiver, v) vulkanudbrud og vi) observerede temperaturtendenser siden præ-industrieltid. Estimererne baseret på disse metoder varierer så meget, at det i dag ikke er muligt at indskrænke det sandsynlige interval for ligevægtsklimafølsomheden yderligere. Men hastigheden og omfanget af globale klimaforandringer bestemmes af strålingspåvirkning, klima-feedbackmekanismer og energiindholdet i klimasystemet. Beregninger af disse størrelser for de seneste årtier stemmer overens med det vurderede *sandsynlige* interval for ligevægtsklimafølsomheden inden for de vurderede usikkerheder og giver dermed et stærkt vidnesbyrd om vores forståelse af menneskeskabte klimaforandringer.

Påvisning af og årsager til klimaforandringer

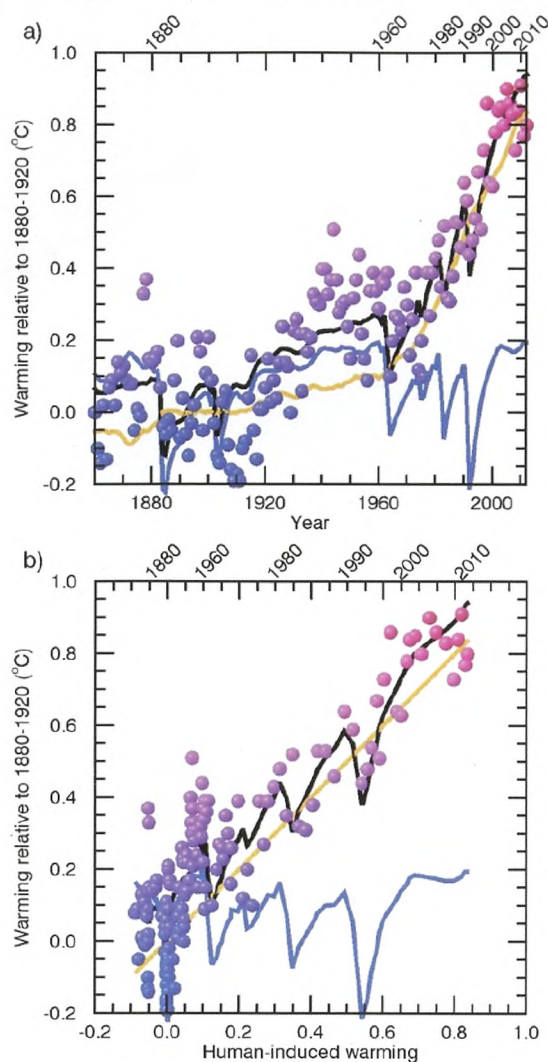
“Menneskelig påvirkning er nu påvist i opvarmningen af atmosfæren og havene, ændringer i det globale vandkredsløb, reduktionerne af sne og is, stigningen i det globale middelhavniveau og ændringer i nogle klimaekstremer. Disse vidnesbyrd om menneskets påvirkning er støt øget over det sidste årti. Det er ekstremt sandsynligt, at menneskelig påvirkning har været den dominerende årsag til den observerede opvarmning siden midten af det 20. århundrede.” [1]

For at give et indtryk af, hvad der indgår i en formel “detection and attribution” (påvisning og forklaring) analyse, som ligger til grund for den ovenstående paragraf, skal jeg her give et eksempel på, hvordan anvendelsen af observationer og data sammenstilles for at vurdere i hvor høj grad der er forståelse for årsagssammenhængen. For yderligere detaljer henvises til [7].

Her gives en idealiseret demonstration af de begreber, der ligger til grund for de fleste eksisterende studier af ‘detection and attribution’, og hvordan disse relaterer til konventionel lineær regression. De farvede prikker i figur 4 viser observerede årlige globale middeltemperaturer for perioden 1861-2012, med varmere år farvet røde og koldere år farvet blå. Observationer alene indikerer, utvetydigt, at Jorden er varmet op, men at kvantificere, hvordan forskellige eksterne faktorer har bidraget til denne opvarmning, kræver en sammenligning af sådanne observationer med de forventede reaktioner på de eksterne faktorer. Den orange kurve viser et modelbaseret estimat over den globale middeltemperaturs respons på en påtvunget menneske-

⁵Udsving, som skyldes internt koblede processer i klimasystemet, især knyttet til de lange tidsskalaer i oceanerne.

skabt strålingspåvirkning (drivhusgasser og aerosoler), mens andre strålingspåvirkninger er holdt konstante. Den blå linje viser omvendt responset udelukkende på naturlige, eksterne påtrykte variationer (Solen og vulkaner). I statistiske termer, vil 'attribution' involvere at finde kombinationen af disse menneskeskabte og naturlige reaktioner, der bedst passer det observerede temperaturforløb, hvilket er vist med den sorte linje i panel (a). For at vise, hvordan dette opnås i ikke-tekniske termer, er de samme data, plottet mod den modelsimulerede menneskeskabte opvarmning, i stedet for tid, i panel (b). Der er en stærk sammenhæng mellem observerede temperaturer og modelsimuleret menneskeskabt opvarmning, men på grund af tilstedeværelsen af naturlige faktorer og intern variabilitet, er korrelation alene ikke nok til en formel påvisning (attribution). Det er nu muligt med statistiske metoder at kvantificere, hvor store bidrag til opvarmningen der skyldes hhv. naturlige og menneskeskabte påvirkninger. Analyser som den her skitserede ligger bag ovenstående citat fra IPCC-rapporten. Men det er vigtigt også at forholde sig til alternative forklaringer.



Figur 4. Eksempel på en forenklet påvisning og forklarings (detection and attribution) undersøgelse. (a) Observerede årlige globale middeltemperaturer i forhold til 1880-1920 (farvede prikker) sammenlignet med klimamodellers respons på menneskeskabte påvirkninger (orange), naturlige strålingspåvirkninger (blå) og best-fit lineær kombination (sort). (b) som (a), men alle data, plottet mod modelsimuleret menneskeskabt opvarmning i stedet for tid. Udvalgte år er angivet på den øverste akse. Fra [1]

Som mange af KVANTs læsere er bekendt med, så eksisterer der – baseret på arbejde af den danske fysiker Henrik Svensmark – en hypotese om, at kosmiske stråler kan fungere som en forstærkende mekanisme af Solens påvirkning af Jordens klima. Men i ovenstående 'detection and attribution' metodik, fremgår det, at det ikke er muligt at begrunde de observerede temperaturændringer ud fra de naturlige strålingspåvirkninger alene, ja faktisk forklarer ovenstående øvelse, at mellem 0,6 og 0,9 grader af opvarmningen siden 1950 kan tilskrives menneskeskabt strålingspåvirkning, hvorfor der ikke levnes megen plads til betydningen af Solen – ej heller gennem en forstærket effekt via kosmiske stråler. Andre studier, der udelukkende analyserer de globale temperaturserier, uden at gå vejen omkring klimamodeller, kommer til lignende resultater; Solen kan ikke forklare mere end maksimalt 0,2 grader af den observerede opvarmning. Hertil kommer så hele det fysiske grundlag for hypotesen, som jo må forudsætte en vis trend i intensiteten af kosmiske stråler, hvis der skal forklares en trend i temperaturen. Men en sådan trend kan slet ikke påvises for perioden 1960-2005 [8]. Derved bliver det vanskeligt at skruer op for andelen af naturlige strålingspåvirkninger i forhold til de menneskeskabte.

Litteratur

- [1] IPCC (2013), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. Cambridge University Press 2013.
- [2] Morice, C.P., J.J. Kennedy, N.A. Rayner, and P.D. Jones (2012), Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: The HadCRUT4 data set. *J. Geophys. Res. Atmos.*, **117**, 22.
- [3] Vose, R.S., et al. (2012), NOAA's Merged Land-Ocean Surface Temperature Analysis. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, **93**, 1677-1685.
- [4] Hansen, J., R. Ruedy, M. Sato, and K. Lo (2010), Global surface temperature change. *Rev. Geophys.*, **48**, RG4004.
- [5] Andersen, J.U. (2010), Om klimamodeller og satellitmålinger, KVANT nr. 2.
- [6] Pedersen, J.O.P. (2011), Solaktivitet og klimaændringer, KVANT nr. 4.
- [7] Bindoff, N.L. et al. (2013): Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F. et al. (eds.)]. Cambridge University Press 2013.
- [8] McCracken, K.G., and J. Beer (2007), Long-term changes in the cosmic ray intensity at Earth, 1428-2005. *J. Geophys. Res. Space Physics*, **112**, A10101.

Jens Hesselbjerg Christensen er forskningsleder ved Danmarks Meteorologiske Institut og adjungeret professor i klimafysik ved Niels Bohr Institutet. Han har været hovedforfatter på kapitler om regionalt klima i flere af bidragene fra arbejdsgruppe 1 til IPCC's vurderingsrapporter. Han arbejder med at forstå og beskrive klimaforandringer i fortid, nutid og fremtid ved at anvende avancerede globale og regionale koblede klimamodeller. Senest med et fokus på Arktis og forståelsen af rollen af havis i forhold til ændringer i Grønlands Indlandsis.



Lineal på pegefingre

– breddeopgave 66 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, NSM, RUC.

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

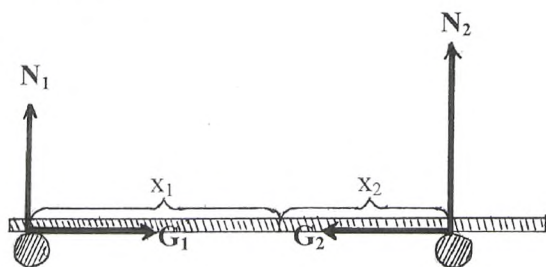
Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaven i sidste nummer af KVANT var denne breddeopgave (nr. 66 i rækken her i KVANT):

Breddeopgave 66. Lineal på pegefingre.

En stok, lineal eller lignende ligger på en persons to udstrakte pegefingre. Når pegefingrene bevæges imod hinanden glider stokken/linealen først kun på den ene pegefinger, så kun på den anden, så igen kun på den første, så igen kun på den anden osv. Forklar hvordan og hvorfor.

Løsning

På figuren er indtegnet normalreaktionerne N_1 og N_2 på linealen fra de to pegefingre i situationen, hvor pegefingrene har henholdsvis afstanden x_1 og afstanden x_2 til linealens midtpunkt. Samtidig er gnidningskræfterne G_1 og G_2 indtegnet svarende til, at pegefingrene bevæges imod hinanden på en rolig måde, så linealen ikke accelereres.



Ved brug af den sædvanlige model for gnidning imellem faste stoffer, og under antagelse af at linealen har samme tværsnit i hele sin længde, gælder:

1) $N_1 x_1 = N_2 x_2$, idet det samlede kraftmoment omkring linealens midtpunkt må være nul, da stangen ikke roterer.

2) $G_1 = G_2$, idet den samlede kraft i vandret retning må være nul, da linealen antages ikke at blive accelereret.

3) $G = \mu_d N$, ved en pegefinger som glider under linealen. μ_d er den dynamiske gnidningskoefficient.

4) $G \leq \mu_s N$, ved en pegefinger som er i ro i forhold til linealen. μ_s er den statiske gnidningskoefficient.

Linealens glid over de to pegefingre på skift, når pegefingrene bevæges imod hinanden, hænger sammen

med, at μ_d erfaringsmæssigt er mindre end μ_s . Til en start er linealen i ro på pegefingrene medens vi forsøger at bevæge dem imod hinanden uden at kunne det, da fingrene holdes fast af de statiske gnidninger imod linealen. Når vi så øger presset vil linealen begynde at glide i forhold til den pegefinger, hvor vores påtrykte G først overskrider $\mu_s N$. Hvis det drejer sig om pegefinger nummer 2 vil denne pegefinger herefter et stykke tid glide under linealen og påvirke den med gnidningskraften $G_2 = \mu_d N_2$. Da $\mu_d < \mu_s$, er G_2 (og G_1 , som hele tiden er lig med G_2) til at begynde med mindre end lige før pegefingeren begyndte at glide under linealen. Men i takt med at x_2 mindskes, vil G_2 blive større, fordi N_2 bliver større, når x_2 bliver mindre. Jo mindre x_2 bliver i forhold til x_1 , jo større en andel af stangens vægt skal modvirkes af N_2 . Samtidigt betyder N_1 's tilsvarende mindre andel af stangens vægt, at grænsen for, hvor stor en statisk gnidningskraft pegefinger nummer 1 kan levere, bliver gradvist mindre. På et tidspunkt vil $G_2 = G_1 = \mu_d N_2$ derfor nå grænsen $\mu_s N_1$. Pegefinger 1 vil da begynde at glide under linealen. Herefter vil de to pegefingre kunne bevæges imod hinanden et stykke tid, ved at pegefinger nummer 1 glider medens pegefinger nummer 2 er i ro i forhold til linealen, indtil kravet til den statiske gnidningskraft fra pegefinger 2 når grænsen $\mu_s N_2$. Så bytter pegefingrene igen roller. Og sådan fortsætter det indtil pegefingrene mødes på midten af linealen.

Overgangen fra, at pegefinger 2 glider og pegefinger 1 er i ro, til, at pegefinger 1 glider og pegefinger 2 er i ro, sker som sagt, når $\mu_d N_2 = \mu_s N_1$. Da $N_1 x_1 = N_2 x_2$, ses heraf, at skiftet sker, når x_2 , i forhold til den fastholdte værdi af x_1 , når til værdien givet ved

$$x_2/x_1 = \mu_d/\mu_s. \quad (1)$$

Tilsvarende sker det næste skift, når x_1 , med x_2 givet ved ligning (1), når til værdien givet ved $x_1/x_2 = \mu_d/\mu_s$. Og så fremdeles.

Kommentar

Et usikkert pilotforsøg med min 40 cm plastiklineal giver ved hjælp af ligning (1) resultatet $\mu_d/\mu_s \approx \frac{1}{2}$ for gnidningskoefficienterne imellem plastiklinealen og mine pegefingre.

Opgaven er ikke en af dem vi på RUC selv har fået ideen til. Den blev brugt ved eksamen i august

2012, fordi jeg af anden årsag forud var blevet mindet om den ved gennembladning af mekaniknoter fra min egen studietid (Mekanik III, Partikelsystemer og stive legemer, Forelæsninger ved Københavns Universitet, efterår 1959, 2. udg.). I noterne, som er velskrevne uden forfatterangivelse, optræder opgaven som et gennemregnet eksempel.

I almindelighed kommer ideerne til nye breddeeksamensopgaver løbende og ikke ved fx søgning i opgavesamlinger, lærebøger m.m. ved udarbejdelsen af opgavesæt umiddelbart forud for eksamen. De ca. 700 indtil nu formulerede breddeeksamensopgaver er en blanding af velkendte, omformulerede velkendte og nyopfundne opgaver. Der er ikke copyright på opgaver, og for os har det ikke første prioritet at være originale. Det afgørende er, at opgaverne ikke er for tæt på at være kloner af allerede eksisterende opgaver i samlingen, og at de så vidt muligt lever op til følgende 7 hensyn:

1. Rimelig behandling af de antydede problemer, skal forudsætte fysisk forståelse.
2. Opgaverne skal vedrøre de centrale begrebsdannelse 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.

I introduktionen til artikelserien om breddeopgaver i KVANT, marts 2000, er der givet lidt begrundelse for de 7 hensyn.

Pointen med at opliste de 7 hensyn her er at tydeliggøre, at det ikke i almindelighed lader sig gøre at kopiere efter traditionelle opgavesamlinger, hvis der skal leves op til hensynene. Nogle gange lader det sig gøre at kopiere direkte. Flere gange får vi inspiration fra opgavesamlinger eller lærebøger til opgaver, der i kraft af justerede formuleringer lever op til breddeopgavegenren. Oftest kommer ideerne imidlertid fra alle mulige andre kilder. Vores studerende, vores yngre kandidater, vores kolleger, konferencer, foredrag, tidsskriftartikler, avisartikler, vores hverdage, vores ferier, museumsbesøg, fjernsynet, venner og bekendte, samt vores undervisning og forberedelserne til den. Uanset arten af kilde til opgaveideer er den afgørende overvejelse, om ideen kan udvikles, så den lever rimeligt op til de 7 hensyn, og ikke ligger for tæt op af allerede stillede opgaver.

Den første censor på Breddekursen på RUC i 1976, Ove Nathan, støttede os i udviklingen af kurset. Men han var bekymret for, at vi inden for en overskuelig tid ville udtømme opgavemulighederne, der kunne leve op til de skitserede hensyn. For mig har måden at undgå

det på været løbende året rundt og igennem årene at oparbejde en samling af stikord til opgaveideer ved, fra en ides undfangelse at notere ideen (senest 10 minutter efter, for ikke at glemme den igen) på en lap papir i min tegnebog. Når jeg så siden skal udarbejde eksamensopgaver, kigger jeg til en start bunken af stikord igennem. Og indtil videre er bunken mere vokset end svundet ind.

Uden en sådan idebunke er det erfaringsmæssigt svært at udarbejde et breddeeksamensopgavesæt. Hvis man uden idebunken sætter sig for at udarbejde sættet to uger før eksamen får man problemer. Det er svært at få ideer under tidspres og på kommando. I min idebunke forud for udarbejdelsen af eksamensopgavesættet fra august 2012 var der et stikord, der henviste til eksemplet "lineal på pegefingre" i mine gamle mekaniknoter.

Breddeopgave 67. Atlanterhavsølger

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra samlingen af træningsopgaver ved opstarten af "Breddekursus", nummer 67 i rækken her i KVANT):

Hvordan er sammenhængen mellem bølgehastighed og bølgelængde for bølgerne på Atlanterhavet? Be- grund svaret ud fra en dimensionsbetragtning.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.

KVANT søger nye redaktører

Redaktionen af KVANT stræber mod at skabe et blad af høj kvalitet. Manuskripterne læses først igennem med henblik på faglige og pædagogiske forbedringer og derefter læses der korrektur på sproget. Dette arbejde udføres for en stor del af frivillige kræfter.

Der er plads til flere redaktører. Hvis du har lyst til at bidrage til én eller flere af følgende opgaver, så skriv til kvant@kvant.dk og hør nærmere.

- Ideer til kommende artikler og temanumre
- Fagkorrektur af manuskripter
- Layout og korrektur
- Redigering i latex
- Anmelde bøger
- Digitalisering af ældre numre
- Udvikling af facebook-gruppen, www.facebook.com/KVANT.fysiktidsskrift.

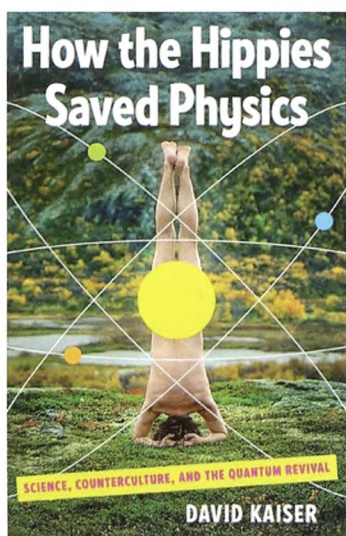
Det er en fordel, hvis du er fysikstuderende, forsker eller fysiklærer i gymnasiet. Redaktionen holder møder i København, men man kan evt. deltage via Skype eller få refunderet rejseudgifterne.

Aktuelle bøger

Af Anja Skaar Jacobsen og Michael Cramer Andersen

Hippiefysik

David Kaiser, "How the Hippies Saved Physics. Science, Counterculture, and the Quantum Revival". New York: W.W. Norton & Company 2011, 372 sider, 13 pund (ca. 200 kr).



Naturligvis flirtede også fysikere ligesom forfattere, musikere og andre med 1970'ernes hippie-modkultur med alt hvad det indebar af bevidsthedsudvidende psykodeliske stoffer som LSD, ud-af-kroppen-oplevelser som transcendental meditation og spiritualistiske seancer, samt studier af parapsykologi og Østens mystik. Men fik flowerpower-bevægelsen afgørende betydning for den retning fysikken siden har taget? Det mener David Kaiser, der er fysikhistoriker på MIT, og med ovennævnte bog ønsker han at dokumentere denne kontroversielle tese. Fysikkens forandring og fremskridt skyldes ikke kun nye eksperimenter. Flere fysikhistorikere ser således genoptagelsen og genindførelsen af filosofiske spørgsmål, fortolkninger af kvanteteorien og endda rene spekulationer i fysikken som betingelsen for oprindelsen af kvanteinformationsvidenskaben. Og Kaiser mener, at drivkraften hertil tog form i 1970'ernes modkultur og New Age bevægelse.

"Hippierne" der refereres til i bogens titel, var en farverig blanding af fysikere og fysikstuderende, der var desillusionerede på vegne af deres fag og havde base i Californien. Her blev en uformel diskussionsgruppe med det lidt underligt klingende navn "Fundamental Fysiks Group" dannet i 1975 af Elizabeth Rauscher og George Weissmann, der begge studerede fysik på Berkeley Universitet. Gruppen talte yderligere Jack Sarfatti, Saul-Paul Sirag, Fred Alan Wolf (som de fleste fysiklærere er stødt på i den flittigt benyttede animation af ham som Dr. Quantum på YouTube), Nick Herbert, Henry Stapp, Fritjof Capra og ikke mindst John Clauser. Udover dette ensemble, vekselvirkede fysikere som

John Archibald Wheeler, Richard Feynman, Bernard d'Espagnat og Alain Aspect med gruppen i perioder. Flere af de unge hippie-fysikere fik aldrig fast job, men de blev generøst sponsoreret af New Age-ikoner såsom den selvgjorte entreprenør og kendis, Werner Erhard, der var blevet mangemillionær på sin såkaldte est-organisation – "Erhard Seminars Training," en slags forløber til nutidens terapeutiske selvhjælpsindustri, og Michael Murphy, grundlæggeren af Esalen Institute i Big Sur, der var centrum for alle New Age bevægelsens aktiviteter i Californien, men også af CIA og Pentagon. Alt imens den venstreorienterede aktivist Ira Einhorn, alias "the Unicorn," sørgede for cirkulationen af gruppens ideer til en bred kreds af interessenter.

Glem alt om Karl Poppers drøm om en streng opdeling mellem videnskab og pseudovidenskab, og her når vi ind til forfatterens pointe. Ifølge Kaiser, reddede hippierne nemlig fysikken på følgende tre måder, som dog hænger tæt sammen: For det første havde de en anden tilgang til det at lære og forske i fysik end deres universitetslærere. Mens man på universitetet lærte "no-nonsense, shut up and calculate"-kvantermekanik, var formålet med Fundamental Fysiks Group at stille store filosofiske spørgsmål om rum, tid og stof og diskutere kvantermekanikkens fortolkning og dens implikationer i bredeste forstand. Gennem en strøm af bl.a. populærvidenskabelige publikationer såsom Fritjof Capras *The Tao of Physics* (1975) og Nick Herberts *Quantum Reality* (1985), bidrog Fundamental Fysiks Group til, at kvantermekanikkens grundlag igen fik en synlig plads i den amerikanske fysikundervisning.

I diskussionerne om kvantermekanikkens fortolkning kastede gruppen sig navnlig over studiet af entanglement, at partikler der har vekselvirket i fortiden vil vise sig at have korrelerede egenskaber når man måler dem, samt den irske fysiker John S. Bells indtil da stort set oversete teorem, der udelukker muligheden for en lokal skjult variabel-teori. Det angiver Kaiser som den anden årsag til, at hippierne reddede fysikken. For ud af diskussionerne om hvad følgerne og begrænsningerne af Bells teorem er og hvad det kan bruges til, voksede kvanteinformationsvidenskaben. I forlængelse af Clausers eksperimentelle tests af Bells teorem et par år forinden, diskuterede man i gruppen mulighederne for at anvende Bells teorem og ikke-lokalitet til at skabe øjeblikkelige fjernvirkninger og derfra forsøge at forklare parapsykologiske, også kaldet "psi"-fænomener og andre okkulte sider af bevidstheden. Det var her CIA og Pentagon kom ind i billedet. De støttede nemlig laboratorier overalt i USA, der udforskede psi-fænomener i perioden, for tankelæsning og -kontrol blev betragtet som et vigtigt element i den nationale sikkerhedspolitik, og man frygtede for Sovjetblokkens mulige forspring på området.

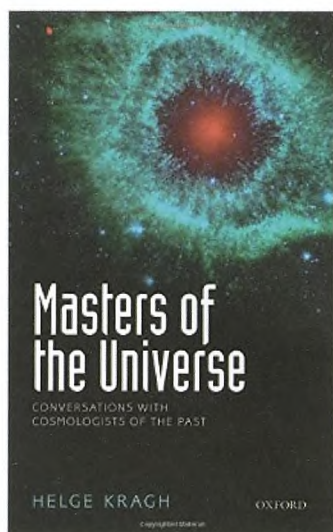
Den tredje årsag til at hippierne reddede fysikken, hævder Kaiser, skyldtes Herbert, der på baggrund af diskussionerne i gruppen, opfandt en hypotetisk maskine til overlyshastigheds-kommunikation vha. entanglement. Apparatet viste sig imidlertid at være fejlslagent. Men ifølge Kaiser, lagde Herberts idé ikke desto mindre kimen til, at flere fysikere uafhængigt af hinanden opdagede det såkaldte ikke-klonings-teorem, som ligger til grund for kvantekryptering. Ikke-klonings-teoremet forbyder, at der kan skabes perfekte kopier eller kloner af en vilkårlig ukendt kvantetilstand, fordi forsøget på at kopiere en kvantetilstand nødvendigvis vil ændre den.

Om man på den baggrund kan sige, at hippiernes bidrag var nødvendig for fysikkens videre udvikling, altså at de reddede fysikken, er nok en overdrivelse, men de bidrog i hvert fald med nogle vigtige brikker. Det gør imidlertid slet ikke fortællingen om The Fundamental Fysiks Group og Co mindre fascinerende. Historien om hippierne er fantastisk og utrolig og umådelig underholdende i sig selv og den fortjener til fulde at blive trukket frem af glemslen og opfylde sin retmæssige plads i den nyere fysikhistorie. Bogen er meget humoristisk og usædvanligt godt skrevet. Den er flot komponeret og gennemresearchet og har da også modtaget adskillige populærvidenskabelige priser. Forfatterens begejstring springer med det samme én i øjnene og det er ikke så underligt, for det er ikke hver dag man støder på et stykke fysikhistorie, der involverer noget så usædvanligt som CIA, LSD, sex og mord.

ASJ

Kosmologiens mestre

Helge Kragh, "Masters of the Universe – Conversations with Cosmologists of the Past". Oxford University Press 2015, 285 sider, pris ca. 245 kr.



"Masters of the Universe" er en både lærerig og underholdende bog om nogle af de største bidrag til det 20. århundredes kosmologi. Bogens hovedperson er en fiktiv fjern slægtning – Carl Christian Nielsen (CCN) – til forfatteren, Helge Kragh, som er professor i videnskabshistorie. I en række interviews med

mange af de førende forskere fra 1913-65, diskuteres nogle af kosmologiens hovedspørgsmål. Kragh har forsynet interviewene med slutnoter og referencer, som underbygger indholdet i samtalerne. Igennem bogen får læseren et godt indtryk både af de interviewede personers videnskabelige bidrag og af deres forskellige personligheder.

Blandt de interviewede er bl.a. nordmanden Kristian Birkeland, der studerede nordlys og plasma. Han foreslog, at der også var ioniseret stof i rummet, hvilket skulle vise sig at være korrekt. Svenskeren Svante Arrhenius bliver også interviewet. Han argumenterede bl.a. for et uendeligt univers, hvor primitivt liv spredtes mellem stjernerne.

Disse to forskere regnes normalt ikke blandt bidragydere til kosmologien, men deres ideer har betydning for udforskningen af Universet. Det giver dog god mening at tage dem med, for at illustrere, hvordan kosmologien som forskningsdisciplin spirede frem. "Kosmologi" blev først accepteret som en seriøs videnskabelig disciplin i sidste halvdel af det 20. århundrede. Feltet har altid tiltrukket amatører og har været præget af filosofiske spekulationer. Vi hører om alle disse aspekter i bogen.

Rækken af mere velkendte fysikere og astronomer, der har bidraget til kosmologien, og som er blevet interviewet af CCN, tæller desuden: Schwarzschild, Hugo von Seeliger, Einstein, de Sitter, Lemaitre, Eddington, Hubble, Gamow, Hoyle, Bondi, Dirac og Dicke.

Interviewene er fyldt med indsigt og personlighed. Ind imellem har CCN dog svært ved at få samtalen i gang. Paul Dirac var fx kendt for at fatte sig i korthed. Det er derfor meget morsomt at læse interviewet med ham. De første svar han giver er "No", "I knew about it" og lidt senere svarer han slet ikke på et dårligt formuleret spørgsmål. Da han bliver spurgt om han kan forklare essensen af sin teori fra 1937 svarer han i første omgang blot "Yes", men forklarer teorien efter endnu en opfordring. Da Dirac får stillet to spørgsmål på én gang påpeger han, at han kun kan besvare ét spørgsmål ad gangen.

CCN har en usædvanlig god sans for, hvad der senere vil få historisk betydning. Det er dog ikke altid, at ophavsmændene til de nye opdagelser selv kan se, hvor vigtige deres ideer er. Det er også nemmere at se i bagklogskabens lys. Det kræver et meget godt overblik over den videnskabelige litteratur og øvrige kilder, for at skrive en bog som denne, hvor kosmologiens mestre både forklarer deres ideer om Universet og diskuterer deres bidrag i forhold til den aktuelle videnskabelige debat. Det kræver også et vist mod at lægge ordene i munden på personer som Einstein, Hubble, Dirac m.fl. Det er ellers en dyd, at en historiker citerer korrekt og ikke selv opfinder citater. Men i denne sammenhæng og med en autoritet som Helge Kragh, der både har skrevet bøger om kosmologiens historie og videnskabelige biografier om Dirac og Einstein, virker det overbevisende. Det er næsten som at være der selv og sludre med de store videnskabsmænd.

MCA

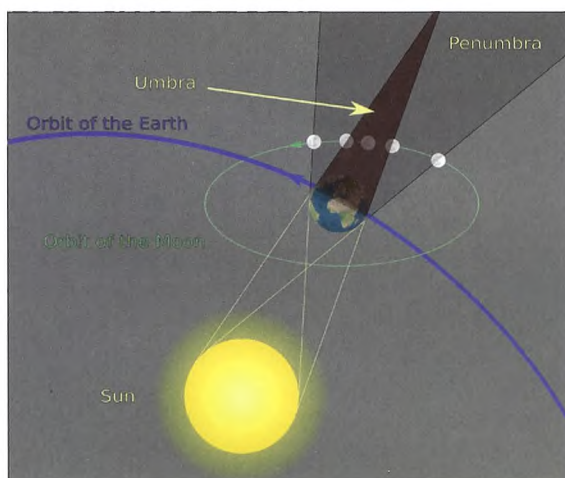
Måneformørkelse sidst i september

Af Michael Quaaide

Tidligt om morgenen – eller sent om natten – mandag den 28. september kan vi opleve en total måneformørkelse. Formørkelsen er total i perioden fra kl. 4:11 til 5:23 om morgenen.

En måneformørkelse opstår, når Månen kommer ind i Jordens skygge. Ved en måneformørkelse ser vi fra Jorden Månens overflade, der på grund af Jordens skygge ikke er belyst af Solen. Det er helt anderledes ved en solformørkelse, hvor vi ser Solen være helt eller delvist skjult bag Månen. Når vi på Jorden oplever en måneformørkelse, vil det ses som en solformørkelse fra Månen – set derfra er Solen skjult bag Jorden.

En måneformørkelse finder altid sted ved fuldmåne. Der er ikke måneformørkelse ved hver fuldmåne, fordi Månens bane om Jorden hælder omkring 5 grader i forhold til Jordens baneplan. Derfor passerer jordskyggen som regel forbi Månen. Det er kun når Månen er nær skæringslinien mellem Månens og Jordens baneplan – *knudelinien* – at måne- og solformørkelser kan finde sted.



Figur 1. Diagram over en måneformørkelse. Den del af Månen, der er indeni Jordens helskygge – Umbra – ses formørket, men den del, der er i halvskyggen – Penumbra – ser næsten helt almindelig ud. Tegning: Segredo, Wikimedia Commons.

En Måneformørkelse kan ses fra hele den del af Jorden, hvor Månen er oppe – ikke som en solformørkelse, der kun er synlig fra en del af Jordens overflade og den kan endda kun være total i et smalt bælte henover Jorden.



Figur 2. Billedserie, der viser forløbet af den totale måneformørkelse den 15. april 2014 optaget fra Mexico. Foto: Javier Sánchez.

I starten og slutningen af formørkelsen er Månen inde i Jordens halvskygge – *penumbra* – hvor Jorden kun skygger for en del af Solen. I denne fase er det svært at se at Månen overhovedet er formørket – det betyder kun, at månelysen er en smule svagere. Det varer fra kl. 2:12 til 3:07 og igen fra 6:27 til 7:22 – et par minutter efter, at Månen er gået ned set fra det østlige Danmark. Længere vestpå går Månen senere ned, så her kan man se hele formørkelsen.

Det er, når Månen kommer ind i Jordens helskygge – *umbra* – hvor hele Solen er skjult, at der begynder at ske noget, vi kan se. I perioden fra kl. 3:07 til 4:11 bevæger Månen sig gradvist ind i Jordens helskygge. I denne *umbrale* fase bliver den solbelyste del af måneoverfladen gradvist mindre, og nu er der markant forskel på den lyse og den mørke del. Grænselinjen mellem den belyste og den mørke del følger krumningen af Jordens overflade. Det betyder, at den partielt formørkede Måne ser helt anderledes ud end en halvmåne.

I tiden fra totalitetens afslutning kl. 5:23 til kl. 6:27 træder Månen gradvist ud af helskyggen, og derefter er der igen halvskyggeformørkelse i yderligere en times tid.

Månen er som regel ikke helt mørk under totaliteten. Noget af Solens lys afbøjes af Jordens atmosfære, så det rammer Månen. Det er den langbølgede, røde del af sollyset, der passerer gennem atmosfæren og fortsætter mod Månen. Fra Månen ville det kunne ses som en rødlig ring omkring Jorden. Det røde lys, der rammer måneoverfladen, bevirker at den formørkede Måne oftest lyser med et svagt rødligt lys.



Figur 3. Den totale fase af måneformørkelsen den 8. oktober 2014. Det røde lys fra Jorden ses tydeligt. Foto: Alfredo Garcia Jr.

Rejse til den totale solformørkelse i USA 2017

Af Knud Strandbæk

Ved den totale solformørkelse i USA den 21. august 2017, er der arrangeret en rejse for medlemmer af Astronomisk Selskab og Amatør-Astronomisk Forening.

fortsat fra bagsiden

Der vil så til denne basistur kunne tilføjes en tur via Salt Lake City, Utah til Arizona med besøg på Lowell Observatoriet med et fint Visitor-center. Det var her Clyde Tombaugh i 1930 fandt dværgplaneten Pluto. Herefter besøg ved Meteor Crater (også kaldt Barringer Crater efter en falleret mineraljæger). Det var her Apollo-astronauterne blev trænet inden turen gik mod Månen. Endvidere besøg ved Grand Canyon mm. over Colorado floden til Californien. Her besøges observatorierne på Mount Palomar og Mount Wilson, og der tilknyttes byrundtur i Los Angeles, Hollywood og Beverly Hills. Der kan efter dette tilbydes en flot rundtur i San Francisco og omegn.



Figur 1. Den totale solformørkelse den 12. december 2014 i Australien. Optaget af Knud Olander Strandbæk, Stella Nova Observatory.

Vi har med dette søgt at kunne tilbyde en spændende rejse til USA – for at kunne opleve en total solformørkelse, men samtidigt at kunne give rejsen et fantastisk astronomisk indhold og tilføje rejsen et indhold af oplevelser, som man skal opleve, når man besøger denne vestlige del af USA.

Vi kan supplere med individuelle rejser til disse rundture – dels før eller bagefter – tilpasset rejsedeltagernes helt personlige ønsker. Disse supplerende individuelle ønsker bedes aftalt med Sinex Rejser.

Rejsen tilbydes specielt til medlemmer af Astronomisk Selskab og Amatør-Astronomisk Forening, som får en rabat på rejsen på kr. 500,- mod dokumentation af medlemskab.

Litteratur

- [1] Sinex Rejser: www.sinex.dk/170-usa.html. Denne side opdateres, og det er vigtigt, at interesserede orienterer sig her. Der findes link til denne side hos Astronomisk Selskab (www.astronomisk.dk) og Amatør-Astronomisk Forening (www.aaf.dk).
- [2] Hovedsiden til solformørkelsen 20170821 (med nyttige links), www.eclipse2017.org.
- [3] Great American Eclipse, www.greatamericaneclipse.com/eclipse-2017.
- [4] Meteorologiske kort, home.cc.umanitoba.ca/~jander/tot2017/tse17intro.htm.
- [5] Beregning af tidspunkt for formørkelsen ved en given lokalitet, <http://aa.usno.navy.mil/data/docs/Eclipse2017.php>.

Solformørkelse i USA 2017 Arrangementsoversigt (resumé)

Detaljeret beskrivelse af rejsen og tilføjelser til grundpakken, se www.sinex.dk/170-usa.html.

Dag 1 – onsdag den 16.08.17

København – Salt Lake City. Afrejse kl. 15:40 til Chicago. Transfer til Salt Lake City, ankomst kl. 21:49. Sen middag (inkluderet).

Dag 2 – torsdag den 17.08.17

Salt Lake City. Byrundtur.

Dag 3 – fredag den 18.08.17

Kørsel mod West Yellowstone National Park forbi Logan Pass og Bear Lake.

Dag 4 – lørdag den 19.08.17

Heldags udflugt i Yellowstone National Park. Tur til Upper og Lower Loop. Der er stop ved, Mammoth Hot Springs, the Grand Canyon of the Yellowstone, the Old Faithful Geyser og Norris Hot Springs.

Dag 5 – søndag den 20.08.17

Kørsel fra Yellow Stone Park, via Rexburg til Idaho Falls i Idaho. Mulighed for at køre ca. 40 kilometer nordpå til området omkring Thornton og Snake River, for at finde og bese det bedst egnede sted til at observere solformørkelsen.

Dag 6 – mandag den 21.08.17

Idaho Falls. Kørsel til observationsstedet. Solformørkelsen er imellem 10:15 og 12:58. Sammenpakning og fejring. Tilbage til Idaho Falls. Resten af dagen til eget brug.

Dag 7 – tirsdag den 22.08.17

Idaho Falls – Salt Lake City – Chicago. Tidlig afgang fra Idaho Falls for at køre til Salt Lake City. Denne rejse nr. 1 slutter med at der flyves tilbage til Danmark via Chicago.

Dag 8 – onsdag den 23.08.17

København. Ankomst kl. 13:20 i Kastrup Lufthavn.

Pris standard pakke (opgivne priser er 2015 priser, og det må påregnes at der vil ske en prisstigning når 2017 priserne kendes, skønnet 6 %):

Pris pr. person i delt dobbeltværelse: Kr. 16.250,00.

Enkeltværelsestillæg (pr. person): Kr. 3.500,00.

Tilmelding hos:

Sinex Rejser ApS Tel.: +45 33 88 22 66
Vesterbrogade 14 A, 1. Fax: +45 33 88 22 69
1620 København V. E-mail: rejser@sinex.dk
Danmark www.sinex.dk

Yderligere oplysninger:

Knud Strandbæk, Agerland 11, 6091 Bjert

Tlf.: 7631 1000 – mobtel.: 4040 3700

E-mail: knud@strandbaek.net eller knud@stella-nova.net.

Rejse til den totale solformørkelse i USA 2017

Af Knud Strandbæk

Ved den totale solformørkelse i USA den 21. august 2017, er der arrangeret en rejse for medlemmer af Astronomisk Selskab og Amatør-Astronomisk Forening.

I forbindelse med den totale solformørkelse har jeg gennem nogen tid planlagt en rejse. Der er lagt vægt på, at vi kan få de bedste betingelser for at opleve formørkelsen og samtidig få mulighed for at opleve smukke og spændende dele af USA med både natur og astronomisk indhold.

Formørkelsen kan ses fra et smalt bælte fra Stillehavet til Atlanterhavet. Ud fra 22 års satellitobservationer af vejrforholdene tyder det på, at de bedste vejrforhold i august skal findes i de vestlige stater.

Vi ved af erfaring, at mange vil strømme til disse områder, og derfor er det vigtigt, at vi reserverer hoteller allerede nu. Mange hoteller har allerede udsolgt, og priserne er desværre steget.

Derfor vil jeg gerne opfordre til, at interesserede hurtigt tager kontakt til Sinex Rejser og bestiller rejsen.

Jeg har valgt et område mellem Rexburg og Idaho Falls i staten Idaho som observationsområde for selve formørkelsen. Det ligger tæt på Yellowstone NP, som vi skal besøge, men selve parken ligger uden for det totale formørkelsesspor.

Jeg har bedt Sinex Rejser, som vi har haft særlig gode erfaringer med, om at stå som teknisk rejsearrangør – ikke mindst, da vi i 2009 var til den totale solformørkelse i Kina med 220 medlemmer/gæster nær Shanghai. Af disse tog 65 senere med på en tur til Tibet.

Vi har aftalt, at vi giver deltagerne tre tilbud, som kan kobles sammen til en stor rundrejse, da der givetvis er nogle, der ikke kan få USA-rejsen til at passe med sommerferie, men som forhåbentligt kan få dage fri til selve formørkelsen og turen til Yellowstone N.P.

fortsættes side 35



Den totale solformørkelse den 21. august 2017 går tværs igennem USA. Kort: Michael Zeiler.