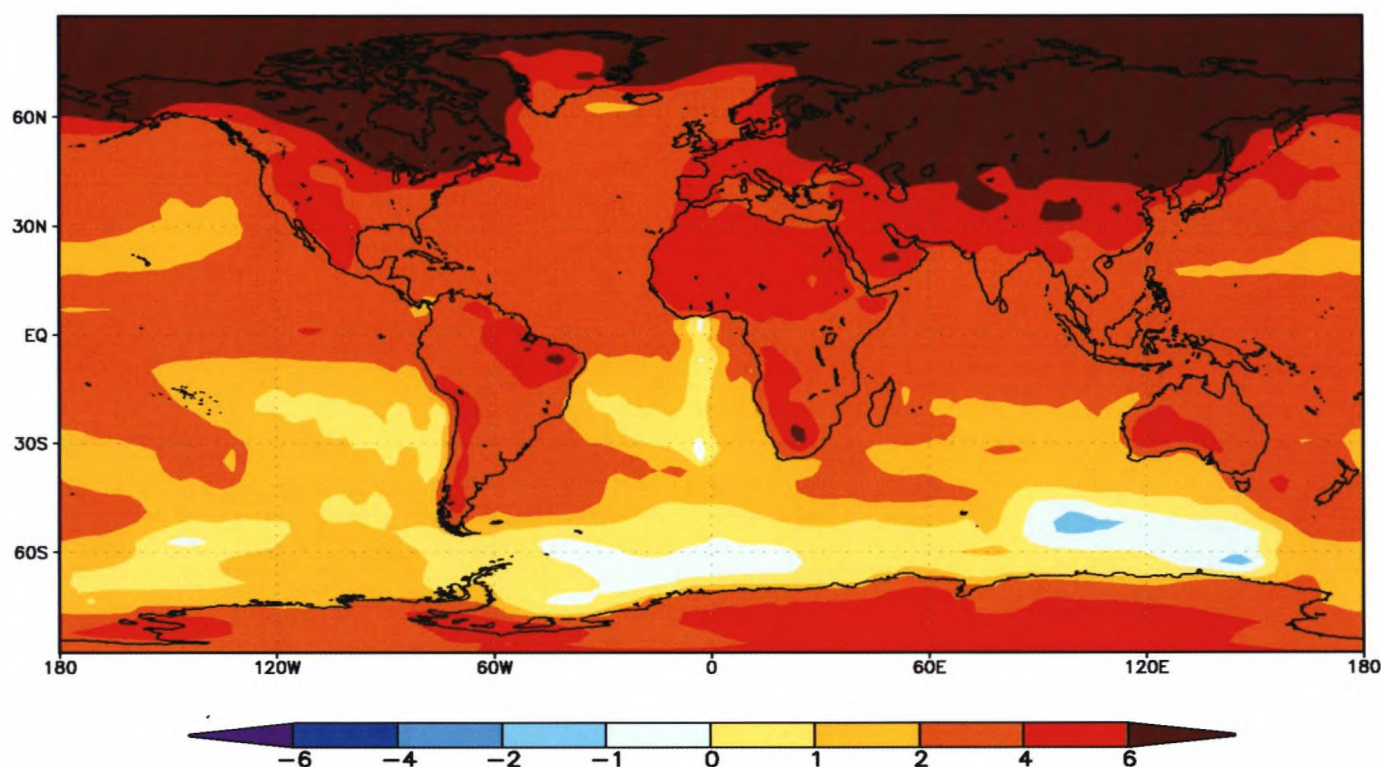


KVANT November 3 2001

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 12. årgang



- TEMANUMMER OM JORDENS KLIMA, DEL 1 •
- SOLENS INDFLYDELSE PÅ JORDENS KLIMA •
- MEKANISMERNE I JORDENS KLIMA • KLIMAPÅVIRKNINGER OG -ÆNDRINGER •
- NÅR SUPERMAND SMIDER SKJORTEN • NORDISK-BALTISK SOMMERSKOLE •
- SOLFORMØRKELSEN 2001 • KVANT-NYHEDER •

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

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

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

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

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

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

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

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



Produktionsplan

Nr. 1-02 udkommer ca. 15. februar
Nr. 2-02 udkommer ca. 15. april
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

Indhold:

Kosmisk stråling og Jordens skydække – Solens indflydelse på Jordens klima <i>Henrik Svensmark,</i>	9
Total solformørkelse den 21. juni 2001 <i>Jens Olaf Pepke Pedersen,</i>	8
Mekanismerne i Jordens klima <i>Jens Olaf Pepke Pedersen og Camilla Bacher</i>	9
Når Superman smider skjorten <i>Henrik Busch</i>	14
Nyt fra Dansk Fysisk Selskab	19
Erratum: Om bevidsthed, fysik og kosmologiske principper <i>Kay Akselbo</i>	20
Klimapåvirkninger og -ændringer <i>Eigil Kaas</i>	21
Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse	27
Kvant-nyheder <i>Michael Cramer Andersen</i>	29
Nordisk-Baltisk sommerskole i Radioastronomi 2001 <i>Karina Kjær, Solveig Witting, Rasmus Voss og René Michelsen</i> Bagsiden, (fortsættes side 31)	

Med dette – og det efterfølgende – nummer af Kvant har vi forsøgt at give et eksempel på et tema, der forener Kvants emneområder: astronomi, fysik og geofysik, nemlig Jordens klima. De første tre artikler bringes i dette nummer, mens Kvant nr. 4 indeholder yderligere fire artikler. Derudover er der i de to numre en række artikler fra fysikkens, astronomiens og undervisningens verden samt nyheder fra Kvant og foreningerne.

De to temanumre er udgivet med støtte af Copenhagen Global Change Initiative (COGCI).

Henvendelser vedrørende abonnement og adresseændring bedes ske til Lene Kørner (koerner@math.ku.dk, telefon 35 32 07 62). Bestilling af classesæt og ældre numre af bladet (20 kr. / stk.) kan ske på kvant@nbi.dk.

Forsiden:

KLIMAÆNDRINGER

Forsidebilledet viser resultatet af en klimamodellsimulering af temperaturændringen i månederne dec-jan-feb i scenariet A2 i perioden 2071–2100 relativt til perioden 1961–1990. Farven indikerer, hvor stor ændringen er i grader Celcius. Læs artiklen af Eigil Kaas side 21.

Jordens klima

Ole John Nielsen, Kemisk Institut, Københavns Universitet

Det er en dejlig udfordring for en kemiker at skrive lederen til Tidsskrift for Fysik og Astronomi. Det er et lille praktisk eksempel på naturvidenskabsfolks pligt til at beskæftige sig med tværfaglige problemstillinger. Kvant nr. 3 og 4 samler ialt 7 artikler, der omhandler forskellige kemiske, fysiske og geofysiske aspekter af Jordens klima. Det er ikke muligt at dække alle elementer af Jordens klima i to numre af Kvant, men vi håber at artiklerne vil kunne bruges i f.eks. gymnasieundervisning.

4 af de 7 artikler er skrevet af forskere fra Det Naturvidenskabelige Fakultet ved Københavns Universitet (KU). Universitet lever på den måde på fornemmeste vis op til sine forpligtigelser – forskning, undervisning og formidling – indenfor klimarelaterede problemstillinger. Det Naturvidenskabelige Fakultet ved KU er involveret i to større initiativer netop på dette område.

Center for Jordens Klima og Biogeokemiske Kredsløb (DCESS "Danish Center for Earth System Science") er etableret med støtte fra Danmarks Grundforskningsfond. På alle tidsskalaer udviser Jordens klima og biogeokemiske kredsløb stabilitet eller en langsom variation, der i perioder afbrydes af episoder med kraftige ændringer. Hvordan opretholdes de stabile forhold, og hvad er årsagerne til de kraftige ændringer? DCESS har til formål at beskæftige sig med de ovennævnte samt beslægtede spørgsmål. DCESS har til huse på Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik ved KU og på Biologisk Institut ved Syddansk Universitet i Odense. Lederen af DCESS er professor Gary Shaffer (København, fysisk og biogeokemisk oceanografi samt klimamodellering). I ledelsen af centeret deltager endvidere professor Donald Canfield (Odense; marin geokemi og mikrobiel økologi) samt professor J. Ray Bates (København, dynamisk meteorologi, klimamodellering). Bevillingen til DCESS er på 50 mill. kr. over den femårige periode 1997–2002, og Grundforskningsfonden afgør til foråret, om centeret skal støttes med endnu en femårig bevilling.

COGCI (Copenhagen Global Change Initiative) består af en Ph.D.-skole og et forskernetværk indenfor klima og miljø. COGCI huses af Det Naturvidenskabelige Fakultet på KU, og drives i samarbejde med DMI (Danmarks Meteorologiske Institut), DMU (Danmarks Miljøundersøgelser) og GEUS (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse). I en 5 årig startaftale har de 3 sektorforskningsinstitutioner og KU forpligtet hinanden til at påbegynde mindst 6 Ph.D. samarbejds-projekter hvert år.

Globaliseringen vil medføre flere og nye globale problemer indenfor klima og miljø. Løsningen af

disse problemer vil kræve en mere integreret og tværfaglig tilgang. Nogleområderne vil ligge på grænserne mellem ikke blot naturvidenskabelige discipliner som kemi, meteorologi, hydrologi, biologi, oceanografi og andre, men også på grænserne over til de ikke-naturvidenskabelige fag som økonomi, jura, sundhedsvidenskab, sociologi, samfundsvidenskab m.fl. Hidtil er verden oftest blevet studeret med udgangspunkt i en enkelt faglig disciplin. I fremtiden vil man i højere grad studere verden integreret og tværfagligt. Forskning og uddannelse må tilpasse sig denne tendens. COGCI Ph.D.-skolen tilsigter at give de studerende en tværfaglig uddannelse indenfor Global Change. Global Change er naturligvis meget mere end Climate Change. I praksis er lidt mere end 50% af vore COGCI Ph.D.-projekter direkte eller indirekte relaterede til klimaproblematikken.

Den første rigtige COGCI Ph.D.-student blev immatrikuleret den 1. maj 2000. I skrivende stund er der 20 immatrikulerede COGCI Ph.D.-studerende. Ud over de studerende, der har fået stipendier via COGCI samarbejdsaftalen, er der COGCI studerende, der finansieres af f.eks. EU og Ford Motor Company. Forskernetværket har foreslået Ph.D.-projekter, arrangeret konferencer, flere temadage og mange COGCI seminarer. COGCI har indtil videre været et rent naturvidenskabeligt anliggende. Det er dog meningen at COGCI med tiden skal blive tværfakultær. Naturligvis er der et web-site (www.cogci.dk), hvor man kan få mange flere oplysninger. Med støtte fra Forskeruddannelsesrådet vil COGCI PhD-skolen i de næste 5 år bruge mere end 20 mill. kr. på forskeruddannelse indenfor Global Change.

Det Naturvidenskabelige Fakultet ved KU bidrager således til at samfundet bliver forsynet med dygtige unge mennesker, der er klar til de kommende års udfordringer indenfor klimaforskning.

Ole John Nielsen.



Ole John Nielsen er professor på Kemisk Institut, KU, og koordinator for Copenhagen Global Change Initiative (COGCI).

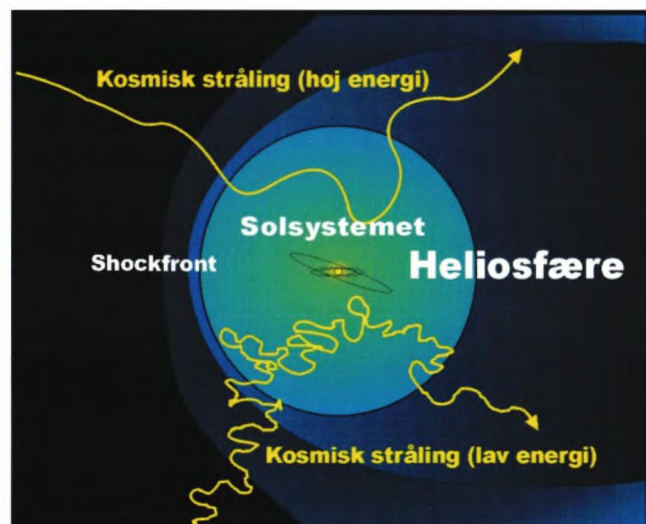
Kosmisk stråling og Jordens skydække

– Solens indflydelse på Jordens klima

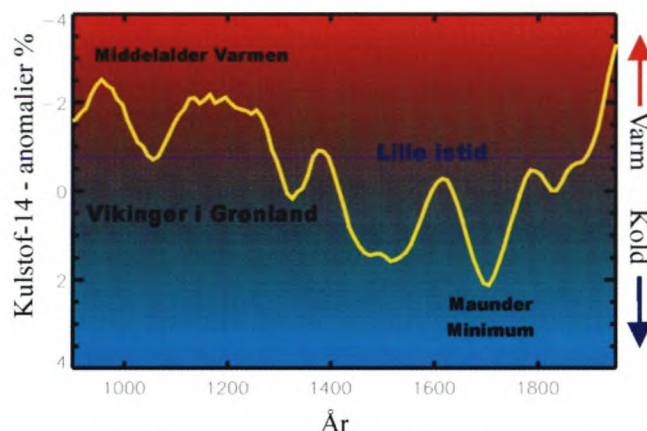
Henrik Svensmark, Dansk Rumforskningsinstitut.

Gennem de sidste hundrede år er Jordens overfladetemperatur steget med ca. 0.7°C. Samtidig har afbrændingen af fossile brændstoffer fået koncentrationen af drivhusgasser, især kuldioxid (CO₂), til at stige i atmosfæren. Dette har affødt en bekymring for, at den registrerede klimaændring er skabt af mennesker. Men Jordens klima har altid været underkastet variationer, og for at bestemme den menneskelige indflydelse er det nødvendigt først at forstå de naturlige årsager til, at klimaet forandrer sig.

En af disse årsager er den tilsyneladende sammenhæng mellem solaktivitet og Jordens klima. Spekulationer om en sammenhæng mellem Solens aktivitet og Jordens klima har eksisteret gennem næsten 200 år. Indtil nu har man ikke kunnet finde en acceptabel fysisk forklaring på denne sammenhæng, der derfor stadig mødes med skepsis og tilskrives tilfældigheder. Men nye resultater baseret på satellitobservationer af Jordens



Figur 1. Heliosfæren – Solen og planetsystemet ses i billedets midte. Fra Solen blæser til stadighed en solvind bestående af ladede partikler. Denne vind fører Solens magnetfelt hele vejen ud i heliosfæren, hvor det danner et varierende skjold mod den energirige galaktiske kosmiske stråling, der muligvis har indflydelse på Jordens skydække. To forskellige baner af kosmisk stråling er skitseret. En med høj energi og en med lav energi. På grund af solsystemets bevægelse gennem rummet dannes en chockfront på grænsefladen til det interstellare medie. Kuglefladen der omslutter solsystemet viser solvindens overgang fra hastigheder hurtigere end lyden til hastigheder langsommere end lyden.



Figur 2. Ændringen i dannelsen af kulstof-14 gennem de sidste 1000 år. Grafen viser variationer som er af længere varighed end ca. 50 år. Bemærk grafen for kulstof-14 er vendt på hovedet.

skydække peger på skyerne som den mulige forbindelse mellem variationer i solaktiviteten og ændringer i Jordens klima, og dermed som den faktor, der kan give en fysisk forklaring.

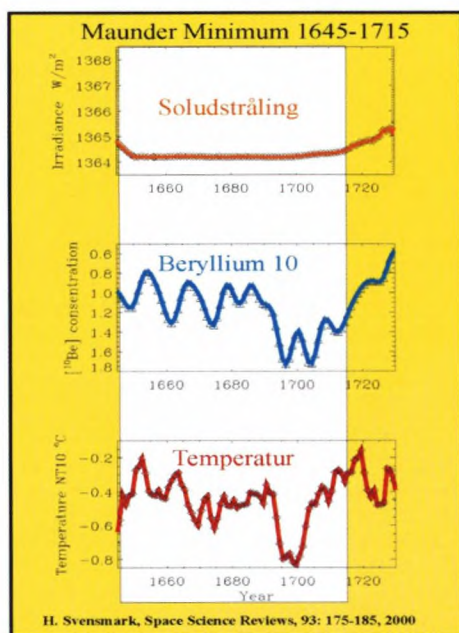
Solaktivitet

Det er påvist, at Solens udstråling varierer med den ca. 11-årige solpletcyklus. Imidlertid viser satellitobservationer, at Solens udstråling gennem de sidste to solpletcykler kun har varieret ganske lidt. Soludstrålingen er gennemsnitlig ca. 0.1% større ved solpletmaksimum end ved solpletminimum. Dette skyldes, at særligt lysende områder på Solen, kaldet fakler og "plages", mere end kompenserer for de mørke solpletter. Beregninger af soludstrålingens variation gennem det sidste århundrede giver en gennemsnitlig stigning på ca. 0.3 watt pr. kvadratmeter hvilket er for lidt til at forklare de observerede temperaturvariationer (se også Sven Ove Thimms artikel i Kvant nr. 4 side 3).

Ændringer i Solens aktivitet har også indflydelse på andet end den totale udstråling. Ud over udsendelsen af lys udsender Solen således også en strøm af partikler der kaldes solvinden. Solens magnetfelt bæres af solvinden, som hermed skaber et kæmpemæssigt dråbeformet område omkring Solen. Dette område kaldes heliosfæren, og er i sin form og sine egenskaber påvirket af aktiviteten på Solens overflade.

Endvidere tilflyder der heliosfæren fra vores galakse et konstant bombardement af meget energirige partikler, bestående hovedsageligt af positivt ladede hy-

drogen atomer og et mindre antal tungere grundstoffer. Dette bombardement af partikler kaldes den kosmiske stråling. Den kosmiske stråling opstår, når kæmpestjerner i mælkevejen går til grunde i supernova-eksplosioner. Når disse kæmpestjerner eksploderer, slynges det yderste lag af stjernen væk under en enorm energiudladning. I vores Mælkevej sker der i gennemsnit en supernova-eksplosion hvert 25. år. Siden 1935 har man målt intensiteten af den kosmiske stråling der når frem til Jorden. Ud fra disse målinger er det blevet klarlagt, at den kosmiske stråling varierer med solaktiviteten. Når der er mange solpletter og dermed høj solaktivitet, formindskes intensiteten af den kosmiske stråling, og når der er lav solaktivitet, forøges intensiteten. Dette skyldes solvinden og det tilhørende magnetfelt. Når solvinden og magnetfelt tiltager i styrke, er heliosfæren bedre i stand til at skærme mod den kosmiske stråling, men når solaktiviteten er lav, formindskes Solens magnetfelt og dermed dens evne til at skærme mod den energirige kosmiske stråling.

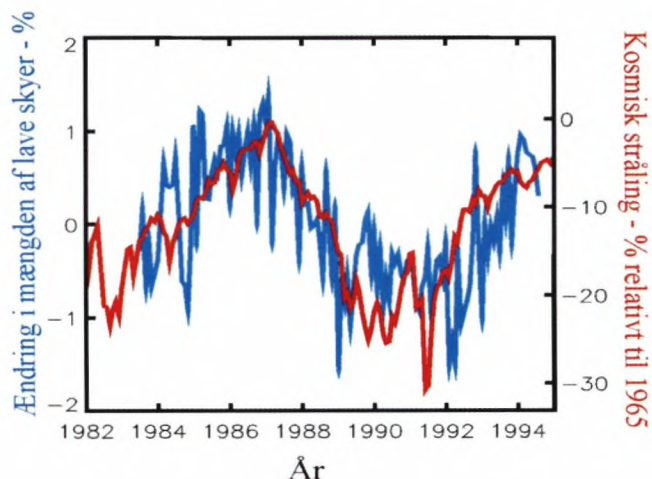


Figur 3. Øverst: Rekonstrueret soludstråling gennem Maunder perioden 1645–1715. Midt: Ændringer i beryllium-10 koncentrationen målt i iskerner fra Grønland. (Beryllium-10 dannes i Jordens atmosfære af kosmisk stråling. Bemærk grafen for Beryllium er vendt på hovedet). Nederst: Rekonstrueret temperatur for den Nordlige halvkugle gennem Maunder minimum perioden.

Solaktivitet og Jordens klima

Når den energirige kosmiske stråling kolliderer med atomkerner i Jordens atmosfære dannes der nye grundstoffer. Et af disse kosmogenet dannede grundstoffer er kulstof-14. Denne kulstofisotop giver information om Solens aktivitet gennem tiderne. Det skyldes, at ændringer i solaktiviteten, og dermed den kosmiske stråling, har indflydelse på, hvor meget kulstof-14 der

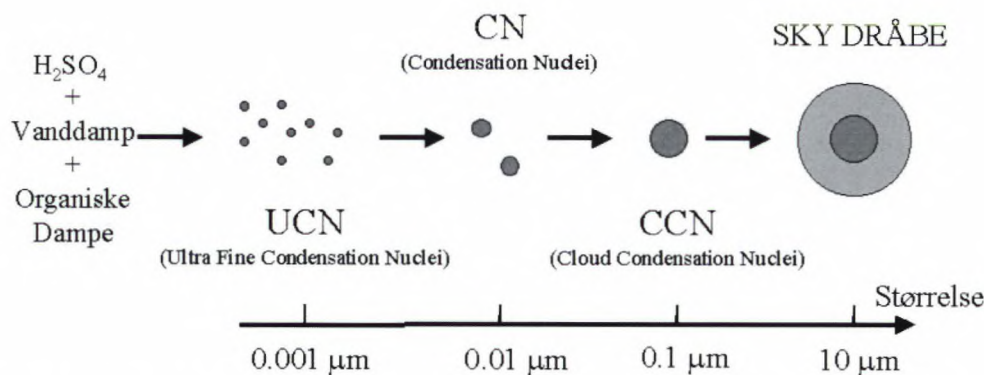
dannes i atmosfæren. Jo større solaktivitet des mindre kosmisk stråling, og dermed lavere produktion af kulstof-14 der, oplagres i organisk materiale som f.eks. træ. Ved at måle hvor meget kulstof-14 der er i en given årring i en træstamme, kan Solens aktivitet på tidspunktet for årringens dannelse aflæses.



Figur 4. Statistisk sammenhæng mellem ændring i mængden af lave skyer og kosmisk stråling gennem den seneste solplet periode. Forskellige typer af skyer påvirker hver især strålingsbalancen forskelligt. Lave skyer køler atmosfæren, mens høje tynde skyer varmer. Den samlede indflydelse af skyer er en køling af Jordens atmosfære.

Variationer i solaktiviteten langt tilbage i tiden kan således aflæses i træer. Figur 2 viser ændringerne i kulstof-14 koncentrationen gennem de sidste 1000 år. Fra år 1000–1300 dannedes ikke så meget kulstof-14, og man må antage at solaktiviteten har været høj. Denne periode som stort set dækker vikingetiden var en varm periode, hvor blandt andre Erik den Røde omkring år 985 sejlede til Grønland og bosatte sig. Her dyrkede vikingerne korn og holdt køer og får. I træ fra 1300-tallet kan aflæses en stigning i kulstof-14 koncentrationen, hvilket afspejler et fald i Solens aktivitet. Klimaet blev koldere og denne periode kaldes den lille istid (1300–1850). Denne klimaændring gav store problemer for vikingerne i Grønland, og de sidste uddør omkring 1450. I den lille istid var perioden fra 1645 til 1715 specielt kold. Perioden kaldes Maunder minimum og er karakteriseret ved, at der næsten ingen solpletter blev observeret.

Figur 3 giver et eksempel på klimaforandringer der tilsyneladende antyder, at det er partikel-strålingen fra vores Mælkevej der har indflydelse på Jordens klima. Den øverste graf er en rekonstruktion af Solens udstråling i Maunder minimum perioden. Grafen viser at der ikke er megen variation i Solens udstråling, og afspejler hermed også de meget få solpletter der blev observeret i denne periode. Derimod viser beryllium-10 grafen at Solens magnetiske aktivitet varierede i gennem denne periode. Ud over 11 års svingninger ses en markant forøgelse i beryllium koncentrationen



Figur 5. Dannelse og vækst af nye aerosoler fra svovlsyre-, vand-, og organiske dampe. Fra venstre mod højre ses overgangen fra gas til partikel efterfulgt af den efterfølgende dannelse af større partikler. Først når aerosolerne er vokset til $0,1 \mu\text{m}$ kan de fungere som skykondensations kerner, og dermed påvirke skydannelsen ($1 \mu\text{m}$ er 1 milliontedel meter).

omkring 1690 som varer indtil omkring 1710. Det er tankevækkende at temperatur forløbet, nederste graf i figur 4, minder meget om ændringerne i beryllium-10 grafen oven over. De laveste temperaturer gennem de sidste 1000 år målt netop i årtiet 1690–1700.

Gennem de sidste hundrede år er solaktiviteten steget til det højeste man har observeret i de sidste 700 år. Nye resultater opnået ved at sammenholde satellitmålinger af solvinden med observationer af forstyrrelser i Jordens magnetiske felt, har vist, at Solens magnetfelt er blevet fordoblet gennem de sidste hundrede år. Disse observationer sammenholdt med flere andre tyder på (se f.eks. [1]), at ændringer i Solens aktivitet påvirker Jordens klima.

Forbindelsen til Jordens skydække

Men hvordan kan partikler fra verdensrummet påvirke Jordens energibalance? En åbenlys mulighed er at betragte atmosfærens gennemskinnelighed som kan ændres gennem Jordens skydække. Skyer dækker i gennemsnit 65% af Jordens overflade og forårsager en køling af atmosfæren med 17 til 35 watt pr. kvadratmeter. De har således stor betydning for Jordens energibalance. Og hvis skyerne påvirkes af variationerne i den kosmiske stråling vil Jordens strålingsbalance og dermed Jordens temperatur kunne ændres effektivt. Denne formodede sammenhæng underbygges af satellitobservationer taget af Jordens skydække gennem den seneste solplet cyklus. Figur 4 viser, hvorledes ændringer i mængden af skyer lavere end 3 km følger variationerne i den kosmiske stråling.

En vigtig forudsætning for dannelsen af skyer i atmosfæren er tilstedeværelsen af små støvkorn kaldet aerosoler. Aerosoler er luftbårne faste eller flydende partikler, i størrelser fra $0,001 \mu\text{m}$ til omkring $10 \mu\text{m}$. Når aerosolerne opnår en størrelse på ca. $0,1 \mu\text{m}$ kan de fungere som skykondensationskerner (CCN) og er der tilstrækkelig med overmættet vanddamp vil CCN aktiveres og blive til skydråber. Disse luftbårne par-

tikler har deres oprindelse enten fra Jordens overfladen, eller fra atmosfæren hvor de dannes ved både kemiske reaktioner og gennem kollisioner, se figur 5. De fleste aerosoler fjernes fra atmosfæren ved regn.

At Jordens strålingsbalance er meget følsom over for ændringer i antallet af skykondensationskerner kan illustreres ved følgende simple beregning: Det antages, at tykkelsen og vandindholdet af en sky er konstant. Dermed er skyens optiske tykkelse τ proportional med $\tau \propto Nr^2$ (det geometriske areal af dråberne), hvor N er dråbe koncentrationen og r er middelfradius af dråberne. Eftersom $N \propto r^{-3}$ (vandindholdet og tykkelsen af skyen er konstant) fås at $\tau \propto N^{1/3}$. Differentieres dette udtryk fås

$$\frac{\Delta \tau}{\tau} = \frac{1}{3} \frac{\Delta N}{N}. \quad (1)$$

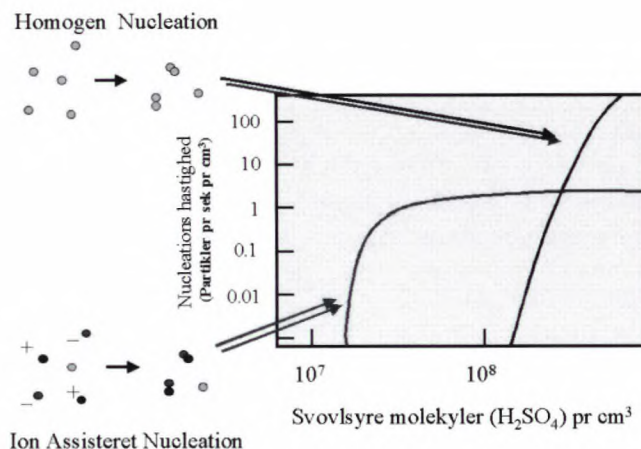
Albedoen eller reflektionen, A , er den del af den indkomne stråling der tilbagereflekteres. For spredning af sollys i skyer gælder det at

$$A \approx \frac{\tau}{\tau + 6,7}. \quad (2)$$

Ved at differentiere ovenstående ligning og efterfølgende indsætte den øverste ligning fås

$$\frac{\Delta A}{\Delta N} = \frac{A(1 - A)}{3N}. \quad (3)$$

For fastholdt dråbekonsentration N ses det at ovenstående udtryk har maximum for $A = 0,5$. Fastholdes albedoen derimod varierer udtrykket som $1/N$. Marine stratocumulus skyer har p.g.a. deres store hyppighed og udstrækning over havet, stor indflydelse på Jordens strålingsbudget. For disse skyer er det ikke ualmindeligt med en albedo på omkring 0,5 og en dråbetæthed på omkring 50–100 pr. cm^3 . Ændring på bare 1 CCN pr. cm^3 betyder således en variation på ca. 0,5–0,25 % i skyens albedo, hvilket illustrerer hvor følsom skyers strålingsegenskaber er over for ændringer i antallet af CCN. (For en gennemsnitlig indkommende solstråling



Figur 6. Skematisk illustration af Homogen Nucleation og Ion Assisteret Nucleation. Grafen viser at ionassisteret nucleation, via indflydelsen af ladninger, er i stand til at danne nye aerosoler ved lavere koncentrationer af svovlsyre end homogen nucleation. Svovlsyredampe dannes naturligt over havet og er en af de vigtigste dampe ved dannelse af nye aerosoler. Typisk er koncentrationen af svovlsyredampene over havet for lav til at homogen nucleation kan forklare den observerede aerosoldannelse. Grafen er baseret på computerberegninger og ikke på eksperimentelle resultater.

på 343 W/m^2 betyder det at omkring $0,5 \text{ W/m}^2$ mindre effekt når ned til jordens overflade).

Hermed er billedet af, hvordan Solen kan påvirke Jordens klima, klart. (1) Den kosmiske stråling er årsag til næsten al ionisation i den nederste del af atmosfæren, og netop ionisationen udviser en stor følsomhed overfor ændringer i solaktiviteten. (2) Ioner i atmosfæren har betydning for dannelsen af aerosoler. (3) Aerosoler påvirker skyernes mikrofysik og dermed deres indflydelse på Jordens strålingsbalance. Selvom dannelsen af nye aerosoler i atmosfæren og fysikken bag er ikke velforstået, er der meget der tyder på at ioner er af meget stor betydning. Gennem computerberegninger har amerikanske aerosolforskere fra University of California, Los Angeles, for nylig vist at ionassisteret dannelse af nye aerosoler er den dominerende mekanisme over havet i den nederste del af atmosfæren, se figur 6. At effekten er størst netop er i den nederste del af atmosfæren passer godt med satellitobservationerne af de lave skyer (figur 4).

Selvom computerberegninger viser at ioner kan have indflydelse på aerosoldannelsen kan det på ingen måde bruges som bevis for, at den kosmiske stråling har indflydelse på skydannelsen. Dette skyldes at computermodellerne indeholder meget simplificerede antagelser, og at mange af delprocesserne kun er indirekte beskrevet. Der er derfor planer om at undersøge ioners betydning for aerosoldannelsen eksperimentelt.

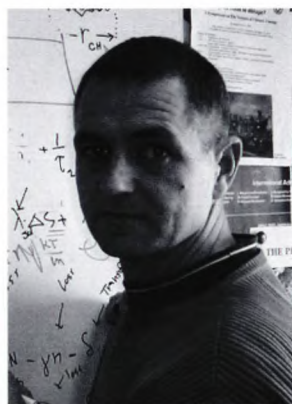
Viser det sig at aerosol dannelsen og derigennem Jordens skydække påvirkes af den kosmiske stråling, betyder det, at processer i universet påvirker os direkte. Forhåbentlig for vi et svar indenfor den næste par år.

Referencer:

- [1] E. Friis-Christensen og K. Lassen (1991) Science, bind **254**, side 698.

- [2] J. A. Eddy (1976) "The Maunder minimum", Science, bind **192**, side 1189.
- [3] H. Svensmark og E. Friis-Christensen (1997) "Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage – a missing link in solar-climate relationships", J. Atmos. Solar-Terr. Phys., bind **59**, side 1225–1232.
- [4] H. Svensmark (1998) "Influence of cosmic rays on Earth's climate", Phys. Rev. Lett., bind **81**, side 5027.
- [5] H. Svensmark, (2000) Space Science Reviews, bind **93**, side 175.
- [6] N. Marsh og H. Svensmark (2000) "Cosmic rays and low cloud properties", Phys. Rev. Lett. bind **85**, side 5004.
- [7] F. Raes og A. Janssens (1985) "Ion-induced aerosol formation in a $\text{H}_2\text{O}-\text{H}_2\text{SO}_4$ system", J. Aerosol Sci., bind **16**, side 217.
- [8] R. Turco, J.-K. Zhao og F. Yu (1998) "A new source of tropospheric aerosols: ion-ion recombination", Geophys. Res. Lett., bind **25**, side 635.
- [9] F. Yu og R. Turco (2000) "Ultra fine aerosol formation by ion-mediated nucleation", Geophys. Res. Lett., bind **27**, side 883.

Litteratur om den historiske sammenhæng mellem solaktivitet og Jordens klima kan f.eks. findes i [1-2], om kosmisk stråling og Jordens skydække i [3-6] og om dannelsen af aerosoler og betydningen af ioner i [7-9].



Henrik Svensmark er ansat på Dansk Rumforskningsinstitut, hvor han arbejder med solsystemets fysik.

Total solformørkelse den 21. juni 2001

Jens Olaf Pepke Pedersen, *Kvant*.

Torsdag den 21. juni i år kunne man opleve en total solformørkelse på den sydlige halvkugle. Som omtalt i *Kvant* nr. 1 i år inviterede Astronomisk Selskab læserne på rejse til Zambia, hvor formørkelsen kunne opleves. Desværre lykkedes det ikke at samle det nødvendige antal deltagere til at turen kunne gennemføres, men vi har alligevel fået mulighed for at vise nogle billeder fra formørkelsen, taget af Robert B. Slobins ved Kamilonga Farm i Zambia. Han oplyser, at forholdene ikke var optimale, da en stor del af himlen over Lusaka var dækket af tågedis på grund af røg fra talrige brande i omegnen. Selvom han opholdt sig lige i nærheden af en af brandene var sigtbarheden alligevel god under selve formørkelsen.



Figur 1. Solformørkelsen den 21. juni 2001 (13:11:19 UTC). Copyright ©2001, Robert B. Slobins/Phototake.

Det første billede viser totaliteten, ca. 2 minutter og 7 sekunder efter den anden kontakt, mens det andet billede viser formørkelsen ved tredje kontakt (det tidspunkt, hvor totaliteten ophører) sammen med et "flash" spektrum af lyset fra koronaen.

I nogle få sekunder lige efter totalitetens begyndelse eller før dens afslutning (dvs. når månen dækker fotosfæren, men ikke kromosfæren) kan man se et spektrum af bølgelængder i emissionen fra solens rand. Spektret indeholder information om tilstanden i solens kromosfære og blev for første gang observeret af den amerikanske astronom Charles Augustus Young i 1870.

Det kræver derfor en god tidsbestemmelse, hvis man vil fotografere spektret. Fotografen har brugt et kamera med en motor, der tager to billeder i sekundet. Ideelt vil man gerne have kontakten til at ske i billede 18-19 i en film med 36 billeder, således at optagelserne skal startes 6-8 sekunder før kontakt. Optagelserne her er foretaget med en 150 mm linse med et lille diffraktionsgitter foran.

Det kontinuerte spektrum viser lysende emissionslinier. Den blå linie er H_{β} -linien i brint ved 4861 Å. Balmer-serien i brint ender i det violette, hvor der også findes en linie fra kalcium. De grønne linier er fra magnesium og den grønne ring i spektret er en overgang ved 5303 Å i Fe XIV. Denne ionisering af jern (der altså mangler 13 af sine 26 elektroner) kræver temperaturer på 4 mill. grader. Den gule linie er fra helium, der i øvrigt har sit navn fra Solen eftersom det blev opdaget i emissionsspektre herfra og først senere fundet på Jorden.



Figur 2. Anden kontakt med flash spektrum (13:09:14 UTC). Copyright ©2001, Robert B. Slobins/Phototake.

Næste chance for at se en total solformørkelse bliver den 4. december næste år, og den vil også kunne opleves fra det sydlige Afrika eller Australien. En øjenvidneberetning fra solformørkelsen den 11. august 1999 kan læses i Michael Cramer Andersens beretning i *Kvant* nr. 4 fra december 1999.

Mekanismerne i Jordens klima

Jens Olaf Pepke Pedersen, Center for Jordens Klima og Biogeokemiske Kredsløb, og Camilla Bacher, Kemisk Institut, Københavns Universitet

Uanset hvor man lever på Jorden, har vejret betydning for dagligdagen og tilværelsen, og selvom vi i Danmark har indrettet os med mange moderne bekvemmeligheder, er vi alligevel på mange måder afhængige af vind og vejr. Vi er også vant til, at vejret er omskifteligt og at det er altid forbundet med en stor usikkerhed at planlægge aktiviteter, der er afhængige af en bestemt vejrtype. Når vi taler om vejret mener vi i øvrigt atmosfærens tilstand på et bestemt sted og tidspunkt. Ser vi på det gennemsnitlige vejr over en længere periode (som traditionelt vælges til 30 år) taler vi om klimaet, og på trods af, at der kan være stor forskel på f.eks. sommervejret fra år til år, så holder klimaet sig nogenlunde konstant.

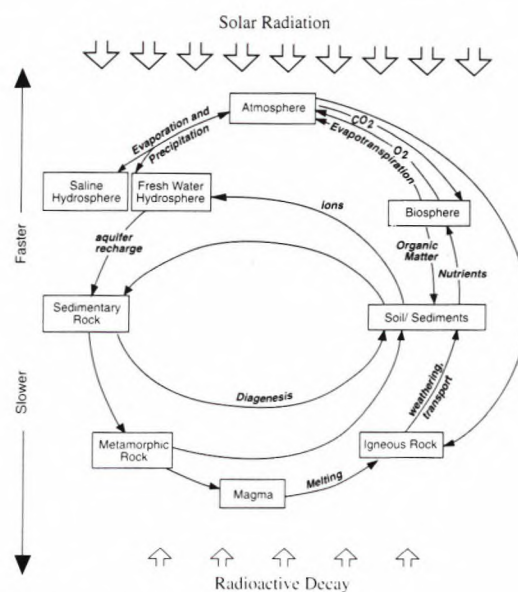
I de senere år har der været en stigende bekymring for, – og også visse tegn på – at klimaet måske alligevel ikke er så konstant, men at det er under forandring. Det vil ikke være noget nyt, hvis klimaet ændrer sig, for vores landskab er jo netop formet af, at det for tusinder af år siden var dækket af en stor iskappe, som siden trak sig tilbage, og også i historisk tid har vi beretninger om kolde og varme perioder. Fra borer i aflejringer på oceanernes bund og ned gennem iskappen på Grønland og Antarktis ved vi, at istider har afløst hinanden med en forbavsende regelmæssighed på ca. 100.000 år, og specielt under de kolde istider indikerer målingerne, at klimaet har været meget ustabil, formodentlig på grund af hurtige ændringer i oceanernes cirkulation.

Går vi længere tilbage gennem Jordens geologiske perioder har vi tegn på, at der undervejs har været dramatiske episoder med store ændringer, der har frembragt såvel nye livsformer som katastrofale udryddelser. Klimaet har således udvist store variationer, og der findes f.eks. geologiske tegn på, at Jorden på et tidspunkt har været helt isdækket, og i andre geologiske perioder har klimaet været meget varmere end idag. De geologiske aflejringer fortæller os imidlertid også, at livet har eksisteret på Jorden lige siden det opstod for mindst 3,5 milliarder år siden. Forholdene på vores planet har altså i hele dette enorme tidsrum alligevel ikke ændret sig mere end at livet har kunnet overleve, og i den nuværende mellemistid kan vi endda betegne klimaet på Jorden som relativt stabilt.

Selvom klimaet altid har ændret sig, vil det dog være nyt, hvis klimaændringerne skyldes menneskelige aktiviteter. Netop på grund af de naturlige variationer fra år til år er det vanskeligt at afgøre, om klimaet er ved at ændre sig, og om det i givet fald er menneskeskabt. Ganske vist har vi i de seneste år herhjemme haft nogle ekstreme vejrforhold, som århundredets orkan, den største nedbørsmængde og det varmeste år, men

da vi på globalt plan kun har målinger, der rækker godt 100 år tilbage, kan det altid diskuteres om en ny rekord er et tegn på en klimaændring eller en tilfældig fluktuation. Derfor er rekonstruktioner af det globale klima siden istiden vigtige for at kunne forstå, om en temperaturændring er usædvanlig. I historisk tid kender vi således flere temperaturvariationer, bl.a. "den lille istid" fra 1600–1800 tallet, som diskuteres i artiklen om den Nordatlantiske Oscillation i Kvant nr. 4 side 29.

Et af de tydeligste tegn på den menneskelige aktivitet, er at vi har ændret atmosfærens sammensætning som følge af luftforurening og afbrænding af fossilt brændstof, ligesom vi har ændret vegetationens sammensætning som følge af skovrydninger og landbrugsdrift. Modelberegninger, der omtales nærmere i artiklen af Eigil Kaas side 21 tyder på, at dette kan føre til store regionale ændringer i klimaet indenfor de næste 100 år. Modellerne viser f.eks. en stor stigning i temperatur og nedbør i vintermånederne i de arktiske egne, mens nedbøren bliver mindre i mange subtropiske områder. I Danmark bliver temperaturstigningen ca. 3–4 grader.



Figur 1. Klimasystemet.

Disse ændringer vil forstærkes eller formindskes af naturlige variationer, ligesom modelberegninger for et komplekst system som Jordens klima nødvendigvis indeholder forenklinger i beskrivelsen af systemet samt er baseret på antagelser for f.eks. det fremtidige udslip af drivhusgasser. Derfor kan klimaændringerne vise sig at blive langt mindre – eller langt værre – end forudsagt. Hvad der imidlertid bør give anledning til bekym-

ring er, at vi faktisk ikke har afdækket hvad det er for mekanismer, der opretholder de stabile forhold, ligesom vi heller ikke ved, hvad der er årsagen til nogle af de kraftige ændringer. Vi ved således heller ikke, om vi måske er tæt på at overskride en kritisk grænse hvor klimaet pludseligt ændrer sig i en dramatisk retning med store omvæltninger til følge. Derfor er der i hvert fald god grund til at se nærmere på mekanismerne i Jordens klima.

Klimasystemet

Vi kan betragte klimasystemet som et komplekst system af forbundne komponenter, som antydtes på figur 1. Komponenterne er Jordens forskellige sfærer, som atmosfæren, oceanerne, kryosfæren (ismasserne), hydrosfæren (søer, floder, grundvand), litosfæren (fastlandet) og biosfæren. Alle disse komponenter er forbundet med hinanden gennem en udveksling af stof og energi, og hvis vi vil beskrive klimaet må vi derfor se på såvel de enkelte komponenter som de globale kredsløb.

Udvekslingen af energi sker især ved stråling samt ved transport af fri varme i atmosfæren og oceanerne, ved latent varme (vanddamp i atmosfæren) og bevægelsesenergi. De vigtigste massetransporter er vand og kulstof, men det har også betydning for klimaet, hvordan f.eks. svovlkredsløbet opfører sig og ikke mindst kredsløbene med næringsstoffer som fosfat og nitrat spiller en rolle. Klimasystemets opførsel afhænger derfor af, hvorledes energi- og massestrømme ændres og hvorledes disse strømme påvirker systemet. Kredsløbene er karakteriserede ved meget forskellige tidsskalaer for deres dynamik og de omfatter både biologiske, geologiske, kemiske og fysiske mekanismer. Under et kaldes de for biogeokemiske kredsløb. Klimafysik bygger derfor på discipliner fra meteorologi, oceanografi, geologi, kemi, fysik og biologi. Når vi mennesker griber ind i kredsløbene ændrer vi stof- og energitransporten – f.eks. kan vi betragte forurening som en flytning af stoffer fra et sted i klimasystemet til et andet sted.

Energien til at opretholde alle kredsløbene kommer fra solen. Da Jorden ikke virker tilbage på solen, betragter vi ikke solen som en del af klimasystemet, men som en ydre påvirkning. Hvis solstrålingen ophørte for en periode, f.eks. hvis et kæmpe meteornedslag sendte store mængder støv og vanddamp op i atmosfæren, ville Jordens temperatur falde dramatisk i løbet af få år, men heldigvis ser der ud til at gå mange millioner år mellem disse begivenheder. Solens udstråling har dog ikke været konstant under hele Jordens udvikling, idet solen idag udstråler ca. 30% mere energi end da livet opstod. Alligevel har klimaet justeret sig efter den øgede indstråling.

Af klimasystemets komponenter er Jordens atmosfære den mest omskiftelige, som hurtigt reagerer på ydre påvirkninger og har en lav varmekapacitet. Kvæl-

stof og ilt udgør 99% af atmosfærens volumen og 99% af massen befinder sig nedenfor 30 km fra Jordens overflade. Set fra rummet syner atmosfæren kun som en tynd hinde omkring Jorden, men dette tynde lag er afgørende for vores eksistens. Da solstrålingen især opvarmer Jordens overflade, som overfører varme til atmosfæren, bliver atmosfæren opvarmet nedefra, og da varm luft udvider sig og stiger til vejrs, bliver atmosfæren turbulent. Den lave varmekapacitet betyder samtidig, at atmosfærens "hukommelse" kun er nogle få uger.

I modsætning til atmosfæren er oceanerne en meget træg komponent, der har en stor varmekapacitet og kan opmagasinere enorme energimængder. Oceanerne virker derfor som en støddæmper i klimasystemet. Samtidig opvarmes havet fra oven og derfor er langt mere stabilt, og hvor overfladelagene kan reagere på ydre påvirkninger i løbet af måneder eller få år, kan det tage århundreder før væsentlige ændringer registreres i dybhavet.

Energistrømme

Stort set al den energi der når Jorden kommer fra Solen. Den gennemsnitlige temperatur på Jorden er stort set konstant, hvilket antyder at strålingsbalancen er rimeligt opretholdt: Den mængde energi der indstråles fra Solen returneres tilbage til verdensrummet enten direkte ved refleksion eller som langbølget stråling.

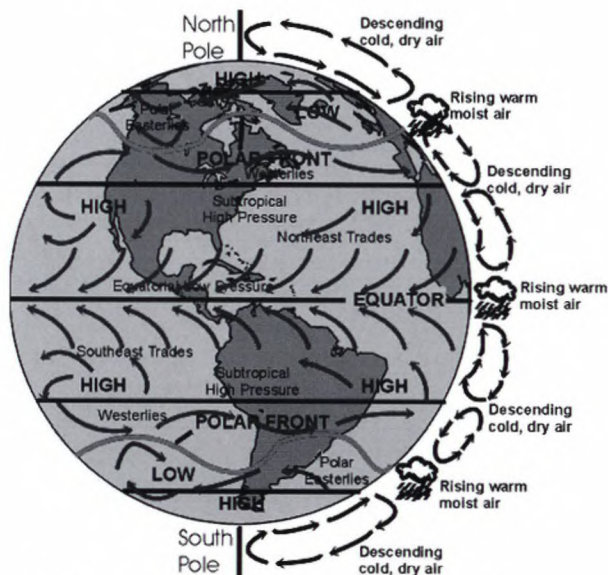
Målt udenfor Jordens atmosfære er mængden af energi der kommer fra solen i gennemsnit 1370 Wm^{-2} . Dette kaldes *solkonstanten* hvilket er et uheldigt navn, for energiindstrålingen fra Solen varierer – endda på mange forskellige tidsskalaer hvilket bl.a. er konstateret ved kontinuerlige målinger fra satellitter siden 1979. Variationer på op til 0,2% ses på en tidsskala der er nøje korreleret med Solens rotation og svarer til at vi ser mørke og lyse områder på solskiven. Andre variationer der er i samme størrelsesorden er korreleret med den 11-årige solpletcyklus. Begge disse variationer har således noget med Solen selv at gøre (læs mere i artiklerne af Henrik Svensmark side 4 i dette nummer samt af Sven Ove Thimm i Kvant nr. 4 side 3) og kan betegnes som en ydre påvirkning.

Jorden "rammes" af en energimængde der kan beregnes som solkonstanten (som netop er energimængden per areal), ganget med arealet af jordskiven. Denne energi skal fordeles ud over en halvkugle, nemlig den del af Jorden hvor der er dag. Den gennemsnitlige mængde af energi der modtages ved toppen af atmosfæren er således 342 Wm^{-2} . Står man på Jorden vil at den modtagne stråling selvfølgelig afhænge af på hvilken breddegrad man befinder sig – ved ækvator modtages der mere energi end ved polerne. Dette udjævnes gennem varmestrømme i atmosfæren og havet.

Eftersom indstrålingen er størst ved ækvator, sker der i tropenerne en kraftig opvarmning af luften ved jordoverfladen og en kraftig fordampning af vand fra

havoverfladen. Da den opvarmede luft ved overfladen er lettere end den køligere luft ovenover stiger varm og fugtig luft til vejrs (det er også denne forskel i densitet, der er årsagen til at en varmluftballon kan flyve). Efterhånden som luften stiger op afkøles den, og da kold luft kan indeholde mindre fugtighed end varm luft, afgiver luften undervejs sin fugtighed som nedbør. Det giver anledning til de store nedbørsmængder man har i troperne med frodige regnskove næsten alle steder på Jorden omkring ækvator som følge.

Hvor højt luftmasserne stiger, afhænger af atmosfærens temperaturfordeling, men de kan dog ikke nå højere op end til stratosfæren, hvor temperaturen begynder at stige med højden. Herefter tvinges luftmasserne til at udbrede sig horisontalt. Det giver anledning til nord- og sydgående vinde i stor højde. Efterhånden som luften kommer væk fra ækvator afkøles den og ved omkring 30. breddegrad begynder den at synke nedad igen hvorved luften opvarmes og får en lav luftfugtighed. Således opstår de højtryk i subtropierne hvor der er meget lidt nedbør. Et kig på et verdenskort afslører at mange af verdens store ørkener netop ligger i et bælte omkring 30 grader nord og syd. Ved overfladen føres luften atter tilbage til ækvator og giver anledning til passatvindene, der på grund af Jordens rotation afbøjes mod højre på den nordlige og mod venstre på den sydlige halvkugle, se figur 2.

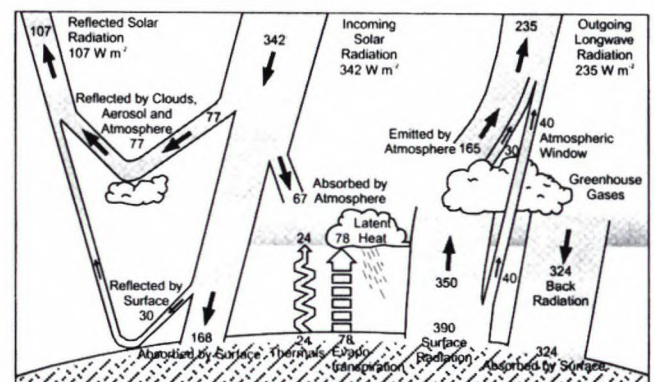


Figur 2. Det globale cirkulationsmønster i atmosfæren.

Denne lukkede luftstrøm, der transporterer energi bort fra ækvator, kaldes Hadley cellen, og som det ses på figur 2 findes to andre celler der virker hhv. ved mellem-breddegraderne og ved polerne, og som har samme effekt på energitransporten. At der dannes mere end en enkelt celle mellem ækvator og polerne er i øvrigt også en effekt af Jordens rotation samt af Jordens krumning, der får luftstrømmene til at presses sammen på vej mod polerne. På vore (mellem-)breddegrader

er billedet af en cirkulationscelle dog en noget ufuldstændig beskrivelse af cirkulationen. Modellen med fremherskende vestenvinde ved jordoverfladen passer godt med observationerne, men i højden er vindretningen også vestlig og ikke østlig. Vestenvindene er her centreret omkring en global jetstrøm, der skifter position over året i store bølgelignende bevægelser. Disse store planetare (Rossby-)bølger sørger for energitransporten fra subtropierne mod polarområdet, og luftstrømmene har stor betydning for det regionale klima.

Også i havene findes tilsvarende energistrømme der bidrager til at udligne temperaturforskellen mellem ækvator og polerne. I Det nordlige Atlanterhav driver vindsystemet således Golfstrømmen (Den nordatlantiske Strøm), der transporterer varmt vand nordpå i Atlanterhavet, og undervejs afgiver sin varme til atmosfæren. Herefter bringer vestenvindene på vore breddegrader varmen fra havstrømmen ind over land og er således med til at gøre klimaet i Vesteuropa så mildt som det er.



Figur 3. De globale middel-energistrømme mellem overfladen og atmosfæren.

Strålingsbalancen

Figur 3 illustrerer hvad der sker med den energi der kommer ind fra Solen. Ca. 30% reflekteres direkte tilbage til verdensrummet, og det er jordoverfladens udseende og atmosfærens sammensætning (inklusive skyer og partikler), der bestemmer, hvor meget solstråling, der tilbagekastes. Is- og snedækkede områder tilbagekaster meget sollys. Hvide skyer (især lavt-liggende skyer med mange små skydråber) tilbagekaster også en meget stor del af sollyset hvorimod højtliggende tynde is-skyer tillader passage af det meste af solstrålingen. Skyer er i det hele taget besværlige at have med at gøre i de store klimamodeller.

Den energi som ikke reflekteres, absorberes enten i atmosfæren, jordoverfladen eller oceanerne eller bruges til fordampning af vand. I atmosfæren afsættes en væsentlig brøkdel af energien i processer der spalter molekyler.

Solens energiudstråling minder tilnærmelsesvis om

det man ser fra et sort legeme med en temperatur på 5.500°C, dvs. at hovedparten af lyset har en bølgelængde på mellem 200 nm og 3 µm. På vej ned gennem atmosfæren absorberes en del af energien fra solen af molekyler i atmosfæren. Lys med en bølgelængde kortere end 250 nm absorberes af O₂ (og af N₂) som bruger energien til at bryde den kemiske binding hvorved der dannes to frie iltatomer. En del af energien omsættes også til bevægelsesenergi dvs. varme, og det ses af figur 4 at temperaturen stiger op gennem stratosfæren som følge af disse processer. Tropospausen – grænsen mellem troposfæren og stratosfæren er netop bestemt som det sted i atmosfæren hvor temperaturen har et lokalt minimum. Langt nede i atmosfæren er al kortbølget stråling absorberet, hvorved opvarmningen af luften som følge af fotolysen af ilt opfører.

De frie iltatomer kan rekombinere med O₂ og danne ozon (O₃) som selv absorberer lys med bølgelængder på op til 300 nm. Som et resultat heraf absorberes al stråling under 300 nm effektivt i stratosfæren. Også langbølget stråling fra solen absorberes af drivhusgasser som vand og kuldioxid.

Den energi der overlever turen ned gennem atmosfæren absorberes enten i jordoverfladen eller i oceanerne. Det bidrager alt sammen til en opvarmning af jordens overflade. Jorden slipper af med hovedparten af denne varme ved at udstråle infrarød stråling (varmestråling) til rummet.

Hvis der ikke var nogen atmosfære, ville temperaturen ved jordoverfladen være mindst 30°C lavere, end den faktisk er. En af de væsentligste årsager til denne forskel er drivhuseffekten, som altså er en naturlig effekt, der er afgørende for de nuværende former for liv på Jorden. Drivhuseffekten virker ved, at bestemte luftarter (drivhusgasserne) og skyerne absorberer en del af den varmestråling, der kommer nedefra. Dermed opvarmes atmosfæren. Atmosfæren slipper af med denne varme igen ved at drivhusgasser og skyer udstråler varmestråling både opad og nedad mod Jorden. Drivhusgasserne og skyerne virker på denne måde som en slags isolerende lag, der holder på varmen i atmosfæren, oceanerne og jordoverfladen. Temperaturen bliver således højere, end den ville være uden en atmosfære.

De vigtigste drivhusgasser er vanddamp, kuldioxid, metan, lattergas, CFC-gasser (freongasser) og ozon. Per molekyle er vanddamp ikke særlig effektiv, men da denne gas forekommer i store koncentrationer i atmosfæren, er det den vigtigste drivhusgas (læs også artiklen om atmosfærens kemi i Kvant nr. 4 side 22).

Ændringer i de enkelte strålingsforhold vil forrykke hele energibalancen. Det kan være svært at forudsige præcis hvordan en ændring vil påvirke de klimatiske parametre som temperatur, nedbør mv. fordi mange af mekanismerne virker tilbage på sig selv og på andre mekanismer. Det kaldes tilbagekobling (feedback) og disse kan både kan være positive – dvs. forstærke en

Milankovitch og istiderne...

Grunden til at vi har årstider på Jorden er, at Jordens rotationsakse hælder 23,5 grader i forhold til Jordens bane rundt om solen. Den halvdel af Jorden der vipper således at den peger mod solen har sommer og den anden halvdel har vinter. Årstiderne har stor betydning for klimaet – prøv f.eks. at forestille dig at forskellene mellem årstiderne blev udjævnet, således at vintrene blev mildere og somrene køligere. Meget tyder på at køligere somre giver isdækkede områder mulighed for at overleve til næste vinter og derved at isfelter bygges op med en yderligere afkøling til følge: Feedbackmekanismer vil forstærke disse effekter idet sne og is reflekterer sollys. Der er også noget der tyder på, at når ismængden stiger så falder indholdet af drivhusgasserne kuldioxid og metan. Hvorfor dette sker ved man ikke i detaljer, men konsekvensen af et faldende indhold af drivhusgasser i atmosfæren er, at temperaturen falder yderligere.

Der er tre måder hvorpå ændringer i jordbanen påvirker energifordelingen her på Jorden:

Hældningen af Jordens rotationsaksen i forhold til Jordens baneplan om Solen varierer mellem 22 og 24,5 grader med en periode på 41.000 år. Jo større hældning er jo mere ekstreme bliver årstiderne og det har betydning for klimaet som vi så ovenfor.

En anden ændring er tidspunktet for perhelion dvs. det sted hvor Jorden er tættest på Solen, en ændring der har en periode på mellem 19.000 og 24.000 år. Lige nu er Jorden tættest på solen i januar, hvor vi har vinter på den nordlige halvkugle og sommer på den sydlige. Det betyder at det er lidt varmere om sommeren på den sydlige halvkugle og om vinteren på den nordlige, end det havde været uden denne effekt. Når somrene alligevel er varmere på den nordlige end på den sydlige halvkugle skyldes det fordelingen af kontinenterne, hvor den største landmasse findes på den nordlige halvkugle.

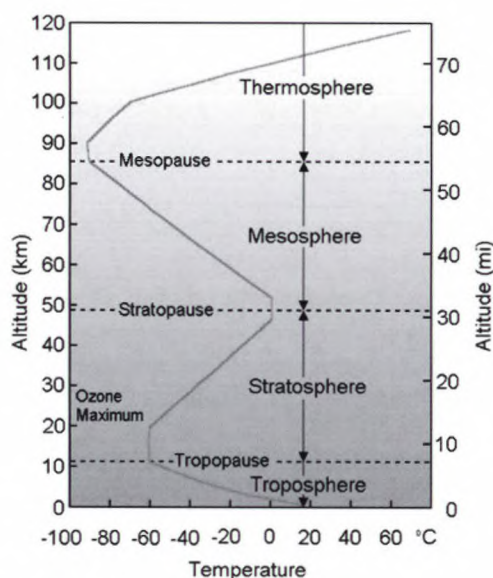
En tredje ændring er jordbanens form der kan blive mere eller mindre elliptisk, hvad også kan føre til ændring af den relative styrke af årstiderne. Disse variationer i Jordens bane har en periode, der i gennemsnit er ca. 95.000 år.

Disse periodiske ændringer i jordbanens form kaldes for *Milankovitch perioder*, efter den serbiske matematiker der først beskrev dem i 1920. De er godt korrelerede med istiderne som de dermed regnes at være ansvarlige for, selvom det diskuteres præcist hvilke mekanismer, der omsætter variationerne i Jordens bane til klimatiske ændringer.

forandring – eller negative, dvs. dæmpe en forandring og dermed stabilisere klimasystemet.

Et eksempel: Hvis temperaturen på Jorden stiger, vil det give mere vanddamp i atmosfæren. Vanddamp er en kraftig drivhusgas og det vil forøge drivhuseffekten med en yderligere opvarmning af Jorden som følge. Det er et eksempel på positiv feedback i systemet. Omvendt vil mere vanddamp i atmosfæren give en flere skyer. Skyer i troposfæren reflekterer, og det vil dermed have en kølende effekt. Det er således et eksempel på negativ feedback.

En anden ydre påvirkning, der kan forrykke Jordens energibalance er den kosmiske stråling, som består af en regn af partikler fra verdensrummet. Partiklerne kan nemlig påvirke dannelsen af skyer, som igen påvirker klimaet. Denne mekanisme diskuteres i artiklen af Henrik Svensmark side 4.



Figur 4. Atmosfærens temperaturprofil.

Stofkredsløbene

Vandets kredsløb er helt afgørende for klimaet. Således bruges omkring halvdelen af energien i den indkommende solstråling til at fordampe vand og en stor del af resten bruges til at opvarme vand i oceanernes overflade, der dækker mere end 70% af Jordens overflade. Oceanerne indeholder 97% af klodens vandmasser, og varmetransport med havstrømme er således et vigtigt bidrag til at udligne temperaturforskellene mellem ækvator og polerne, ligesom vandmasserne kan oplagre store energimængder og dermed dæmpe svingninger i klimaet.

I forhold hertil er atmosfærens indhold af vanddamp forsvindende, kun ca. 0,001%. Alligevel er vand i atmosfæren en meget vigtig – og sårbar – komponent i klimasystemet, fordi mængden af vanddamp øjeblikkeligt reagerer på ændringer i klimaet. Fordelingen af vand i atmosfæren er derfor kritisk – dels fordi vand-

damp også er en drivhusgas, og dels fordi vanddampen ofte kondenserer andre steder end den fordampede og derfor bidrager til energitransporten i atmosfæren. Endelig er fordelingen af nedbør naturligvis afgørende for biosfæren.

Kulstofkredsløbet er også med til at forbinde de forskellige sfærer til hinanden og har ligeledes en direkte indflydelse på klimaet, fordi det regulerer to vigtige drivhusgasser, nemlig CO_2 og CH_4 . I sammenligning med vandets kredsløb er kulstofkredsløbet meget mere komplekst og meget langsommere. Det introducerer til gengæld muligheden for feedback mekanismer med meget lange tidskonstanter i klimaet. Kulstofkredsløbet og disse mekanismer uddybes i artiklen i Kvant nr. 4 side 10.

Andre stofkredsløb, der kobler komponenterne sammen og påvirker klimaet, er svovl, kvælstof og fosfor. Sulfater er f.eks. ansvarlige for dannelsen af aerosoler, der ændrer refleksionen af solstrålingen, og kvælstof indgår i en række kemiske reaktioner, der dels producerer drivhusgasser og dels indgår i kemien i ozonlaget. Endelig udgør mængden af såvel kvælstof som fosfor i overfladelaget en begrænsning for den biologiske produktivitet i oceanerne og dermed også for CO_2 -kredsløbet.

Klimaændringer

Klimaændringer kan derfor skyldes ændringer i stof- og energikredsløbene. Årsagerne til disse ændringer kan være naturlige og f.eks. skyldes ændringer i solens udstråling eller i Jordens bane omkring solen (se boks). På geologiske tidsskalaer har fordelingen af oceaner og kontinenter samt deres indbyrdes placering haft en dramatisk betydning. F.eks. kan der jo ikke være nogen Golfstrøm, hvis der ikke er et Atlanterhav, ligesom åbningen af passagen mellem Sydamerika og Antarktis samt lukningen af passagen mellem Syd- og Nordamerika har ændret globale cirkulationsmønstre i oceanerne. På meget korte tidsskalaer har f.eks. vulkansk aktivitet og deraf følgende ændringer i atmosfæren betydning, men i historisk tid har disse ændringer været små og kortvarige og typisk resulteret i en afkøling på nogle tiendedele grader i nogle få år.

Sammenlignet med de naturlige variationer er virkningen af menneskets aktiviteter på klimasystemet ikke dramatisk. Det nye er imidlertid, at ændringerne sker på en langt hurtigere tidsskala end de naturlige variationer. I artiklen side 21 diskuterer Eigil Kaas, hvor stor effekten er, og hvordan de ændringer, vi har sat igang kan tænkes at påvirke klimaet fremover.

Selvom der er usikkerhed i modelberegningerne og om mange af mekanismerne i klimasystemet er der ikke tvivl om, at klimaændringer vil være et centralt diskussionsemne i mange år fremover. Forhåbentlig vil læseren af disse numre af Kvant blive inspireret til at følge debatten og selv tage kritisk stilling til argumenterne.

Når Superman smider skjorten

Henrik Busch, Institut for Curriculumforskning, Danmarks Pædagogiske Universitet.

Denne artikel¹ er centreret om en analyse af en forelæsning på førsteårskurset i klassisk mekanik på fysikstudiet ved Københavns Universitet. De centrale pointer i artiklen knytter sig til underviseres og studerendes indbyrdes roller i det læringslandskab, som uddannelsesinstitutionen har designet for de studerende og til karakteren af de fysikrelaterede problemstillinger, som typisk arbejdes med på grunduddannelsen. Disse temaer udgør blot to af flere analysekategorier i det udredningsarbejde, jeg i øjeblikket gennemfører for Dansk Center for Naturvidenskabsdidaktik (DCN-projekt 3–23) med titlen “Praksislæring på fysikstudiet”. En supplerende diskussion baseret på blandt andet interview med studerende på fysikstudiet findes i [1]. Analysen af forelæsningen i denne artikel bør i sig selv give anledning til overvejelser om undervisningspraksis, men skal også ses i udredningsarbejdets bredere sammenhæng, som jeg kort vil skitsere til at begynde med.

Praksislæring på fysikstudiet

Analysen af grunduddannelsen på fysikstudiet ved Københavns Universitet tager udgangspunkt i en forståelse af læring, der ofte refereres til som “et situeret læringsperspektiv” eller “læring som social praksis”. Dette læringsperspektiv adskiller sig, hvad angår en række fundamentale antagelser, fra mere traditionelle og kendte kognitive tilgange (f.eks. forskellige former for konstruktivistiske tilgange) til at beskrive på en holdbar og operationel måde, hvordan mennesker lærer.

Meget kort (og unuanceret) fortalt antages i det kognitive perspektiv, at viden tilhører det enkelte individ og repræsenteres i individets kognitive (mentale) strukturer. Læring bliver da et spørgsmål om at individets kognitive strukturer tilpasses og omorganiseres som resultat af ydre påvirkninger – eksempelvis læsningen af en side i lærebogen, diskussionen med en medstuderende eller underviserens gennemgang af en udledning på tavlen. På denne måde kan man forestille sig, hvordan viden kan tegnes i én sammenhæng (f.eks. skolen), repræsenteres ved et indre mental skema og overføres med individet til en andre sammenhænge (f.eks. arbejdslivet) og finde anvendelse ved at blive “projiceret ud i verden”.

I et situeret perspektiv opfattes viden ikke som tilhørende det enkelte individ, men som konstitueret i vekselvirkning mellem individer indbyrdes og mellem individer og artefakter (redskaber, symboler, repræsentationer etc.). Eksempelvis omfatter “min viden” (forstået som mine muligheder for at handle i denne bestemte sammenhæng, hvor en artikel til Kvant skal skrives) mine bøger og artikler i bogreolen, mine to århusianske kollegers indsigt som jeg trækker på i forbindelse med afklarende spørgsmål, ressourcer på Internettet som jeg har adgang til vha. min computer og lignende.

Med et situeret læringsperspektiv vil man ikke forsøge at vurdere den studerendes udbytte (læringen) af en given undervisningssituation ved at undersøge “hvilken mængde stof”, han eller hun har tilegnet sig i form af f.eks. begreber, relationer mellem disse, generelle færdigheder inden for symbolmanipulation etc. I stedet vil man spørge til, hvilke nye muligheder han eller hun har opnået for at deltage eller handle kompetent i konkrete (fysik)fagligt og socialt konstituerede praksissammenhænge. Sådanne *praksissammenhænge* repræsenterer bestemte måder hvorpå viden kan bruges og bliver brugt og måder hvorpå individer relaterer sig til redskaber og til hinanden. Tre eksempler på markante praksissammenhænge der er knyttet til fysikstudiet og som repræsenterer forskellige former for “viden i praksis” er: (i) undervisning af eleverne på et gymnasium i fagene fysik og matematik, (ii) en given skriftlig universitetsseksamen og (iii) deltagelsen i forskningsarbejdet indenfor eksperimentel atomfysik.

Med et situeret læringsperspektiv som udgangspunkt bliver et væsentligt formål i det omtalte udredningsarbejde at beskrive “viden i praksis” – forstået som grundlaget for at kunne handle kompetent i bestemte sammenhænge, der er relevante for en (universitets-)uddannelsesrelateret diskussion. Et andet formål er at undersøge, hvordan denne “viden i praksis” læres (eller ikke læres) som led i de studerendes deltagelse i grunduddannelsen i fysik ved Københavns Universitet. Analysen baseres på empiriske data i form af bandede interview med studerende og undervisere, feltnotater over observationer gjort i forbindelse med min egen deltagelse i forskellige undervisningssituationer i

¹ Artiklen er baseret på det oplæg, jeg gav ved Dansk Fysisk Selskabs årsmøde i Nyborg Strand, den 31. maj 2001. Jeg har forsøgt at inddrage tilhørernes kommentarer i artiklen. Dette gælder bl.a. spørgsmålet om mine motiver for at bruge “Superman” som metafor for “den praktiserende fysiker”. Dette valg bunder ikke i mit eget ønske om at placere den forskende fysiker på en piedestal. Imidlertid er det mit indtryk, når jeg bevæger mig blandt de fysikstuderende, at den praktiserende (forskende) fysiker af de fleste studerende betragtes med en væsentligt grad af fascination og benovelse og med opfattelsen af, at forskerkarrieren er det højest opnåelige, men noget utopiske udkomme af uddannelsen. Mit forsøg på at sætte mig i de studerendes sko, kombineret med mit læringsteoretiske udgangspunkt har i perioder under mine observationer givet mig et billede af Superman (og i meget sjældne tilfælde Superwoman...), som i den normale, daglige undervisningssituation skjuler sin identitet på måder, som jeg forsøger at illustrere i denne artikel.

studieårene 1999–2001, litteraturstudier samt analyse af diverse undervisningsrelaterede dokumenter.

I det følgende afsnit beskrives blot en enkelt undervisningssituation fra førsteårsstudiet i fysik, som jeg oplevede den fra min egen specielle position som uddannelsesforsker, der udførte deltagerobservationer med ovennævnte analysearbejde i baghovedet – og i øvrigt med en uddannelse som Ph.D. i fysik ved Københavns Universitet i rygsækken.

Den nævnte undervisningssituation foregår i løbet af to på hinanden følgende forelæsninger i klassisk mekanik², som set i relation til min situerede analyse indeholder en række elementer, der er karakteristiske for undervisningen på grunduddannelsen. Imidlertid sker der også fra et bestemt tidspunkt ved en tilfældighed et “stilskifte”, som for mig repræsenterer nogle interessante pointer.

Beskrivelsen nedenfor af forelæsningsernes forløb fungerer som springbræt til senere i artiklen at pege på to karakteristiske træk i grunduddannelsen på fysikstudiet: (i) karakteren af “det fysiske problem” og (ii) rollefordelingen mellem studerende og undervisere. På figur 1 er gengivet centrale dele af, hvad underviseren skrev på tavlen under forelæsningen³. Til beskrivelsen af underviserens og de studerendes handlinger er brugt skrifttypen Arial, mens citater er “*anført i kursiv*”, og mine egne kommentarer er skrevet med samme skrifttype som resten af artiklen. Når handlinger eller udtalelser overspringes er dette angivet med tre prikker (...).

Da Superman smed skjorten en tirsdag morgen...

Det er tirsdag morgen i begyndelsen af efterårssemestret og 2. time i en dobbeltforelæsning som har til formål at illustrere bevægelsesligningen (Newtons 2. lov) ved at bruge denne til at beskrive simple fysiske systemers opførsel som funktion af tiden. Forelæseren (FL) har allerede på dette tidspunkt i semesteret etableret sig som en populær underviser – han er engageret, inspirerende, omhyggelig og har tydeligvis gennemtænkt de enkelte undervisningsforløb, som i regelen tæt følger lærebogens progression og eksempler. Forelæsningsforløbet generelt efter underviserens plan, og den første af dagens to forelæsninger har ikke været nogen undtagelse. Bevægelsesligningerne er i løbet af den første time blevet løst for hhv. en punktformet partikel påvirket af en konstant kraft og for en klods på et gnidningsfrit underlag og fastgjort til en fjeder. I denne time tages fat på bevægelse under påvirkning af en hastighedsafhængig kraft; i form af en partikel nedsænket i et væskekar.

Løsning af en bevægelsesligning

²Forelæsningserne på førsteårskurserne videofilmes og lægges frit tilgængelige på kursernes hjemmeside. Links til de to forelæsninger, der er beskrevet i artiklen, kan findes referencelisten

³Jeg har tilføjet markeringerne (a) – (e) for at kunne referere til bestemte tidspunkter under forelæsninger; bortset fra dette og udeladelsen af en række manipulationer mellem (d) og (e) svarer figuren nøje til, hvad der blev skrevet på tavlen i løbet af forelæsningen.

FL introducerer det næste eksempel med en bemærkning om at dette eksempel er væsentligt.

FL: “...her lærer I virkelig noget, som I skal skrive jer bag øret – I kommer til at opleve en differentiaalligning som gælder for en utrolig masse fysiske systemer – systemer med det man kalder for relaxsation.”

Der startes med at optegne et kar med en væske med massefylde ρ og volumen V (se figur 1).

Fysik

$v(t)$
 $x(t)$

Tyngdekraft mg
 Opdrift $-pVg$ } $F = mg - pVg$

Hast. afh. kraft: $-av$

$m \frac{dv}{dt} = k - av$ $F = k - av$ (a)

$\frac{dv}{k/av} = \frac{dt}{m}$ (b)

$\frac{d((k/a)-v)}{k/a - v} = -\frac{dt}{m}$

$\frac{1}{k/a - v} d((k/a)-v) = -\frac{dt}{m}$ (c)

$\frac{d((k/a)-v)}{k/a - v} = -\frac{a}{m} dt$ (d)

...

$x(t) = \frac{k}{a}t - \frac{km}{a^2}(1 - e^{-\frac{a}{m}t})$ (e)

Figur 1. Uddraget fra tavlen.

De tre kræfter der virker på kuglen indtegnes og opskrives ved siden af illustrationen og til sidst opstilles bevægelsesligningen. Et enkelt spørgsmål kommer fra en studerende – om hvorvidt parameteren “a” er en konstant. Der svares bekræftende på dette og fortsættes efter forelæsningsplanen.

Bevægelsesligningen opskrives først ved hjælp af den 2. afledede af x (hvilket svarer til “standardformuleringen” af Newtons 2. lov), men til rettes i stedet til den 1. afledede af v (jfr. (a) på fig. 1). FL kommenterer på valget af denne løsningsprocedure (det viser sig at give en mere overskuelig vej fra “start til slut”). Herefter fortsættes:

FL: Nu kommer der altså en hel del sådan lidt manipulation. Det er sådan noget man skal sidde og kigge

på nogle gange og det kan endda være, at jeg er nødt til at kigge efter (i forelæsningsnoterne), hvad man skal gøre...Hvad kan vi gøre ved denne ligning? (retorisk spørgsmål). Vi kunne prøve at isolere hvad der har med v at gøre på den ene side og med t at gøre på den anden side... lige som vi har gjort de to andre gange. Jeg skriver noget i retning af... (han når frem til ligningen markeret med (b) på figur 1). Er der nogen der er meget utilfredse med den manipulation... (ingen svarer – der går 2–3 sekunder). Det er svært at være utilfreds med den manipulation...“.

FL sætter en streg rundt om det der er opstillet og det markeres, “at det indrammede er fysik”. ...

FL: “Er der nogen der har noget imod at jeg ganger igennem med... – på begge sider af lighedstegnet (retorisk spørgsmål – ingen svarer i løbet af 2–3 sekunder)...det kan I godt have noget imod – jeg gør det alligevel... (sagt med et smil på læben)”

Herefter fortsætter udledningen med nogle (tilsyneladende for de studerende) ikke umiddelbart oplagte manipulationer, der ender med at komme frem til (c) og derefter (d) (se figur 1). FL argumenterer for det matematisk gyldige i manipulationen. Der kommer et enkelt spørgsmål fra en studerende vedrørende gyldigheden af en bestemt matematisk operation. FL argumenterer yderligere og skriver videre på tavlen yderst til højre, da to studerende giver udtryk for at de ikke forstår.

Efter argumentet er udført spørger FL: “Er i enige?” (der svares ikke...). FL konkluderer: “I er ikke særlig enige...”, men fortsætter alligevel med at løse differentialligningen ved at substituere ($\alpha = k/a - v$) og benytte at stamfunktionen til $1/\alpha = \ln|\alpha| + \dots$. Der fortsættes med løsning af differentialligningen, idet numerisk-tegnet i logaritmefunktionen pludselig udelades. En studerende spørger til dette og FL forklarer, at det er gjort, fordi det senere vil vise sig, at indholdet i parentesens går asymptotisk mod 0 og altså aldrig bliver negativt...

Alt går tilsyneladende efter planen indtil en halv time inde i forelæsningsen, da det endelige resultatet for $x(t)$ er opnået. Dette resultat opskrives på den mest “præsentable” form (se (e) på figur 1) og udgør klimaks på udledningen af $x(t)$ for dette specielle system. Herefter sættes en ramme om resultatet.

Superman smider skjorten!

FL går i gang med at kommentere på resultatet og diskutere systemets opførsel “i grænserne”.

FL: “Jeg har vist, hvordan x opfører sig som funktion af tiden. Dét I kan se, er at for $t = 0...$ bliver hele denne parentes 0 (yderst til højre i (e) på figur 1), så her står der bare noget (refererer til $x(t) = kt/a$) der falder frit... i tyngdefeltet, bortset fra at den er korrigeret for opdriften...”

her stopper FL op, knipser lidt med fingrene og

siger: “Nej, hvad siger jeg?...”. En studerende kommenterer (kan ikke høre, hvad han siger) ...

FL svarer: “Nej, det er rigtig nok – der er ikke $t^2...$ ooohhh...”

FL går lidt tilbage fra tavlen, vender sig om og kigger på den, siger: “hmmmmmm...”, småfløjter lidt et par gange og siger “Hmmm...den går lineært i $t...$ øhhhh”. Der mumles nu grundigt blandt de studerende i baggrunden. FL tager sine forelæsningsnoter op og kontrollerer sit resultat på tavlen. En studerende siger: “Er det ikke fordi der er et +...”. En anden studerende siger: “Det er fordi, du har modstanden med...”.

FL: “Fordi jeg har hvad siger du...?” (kigger opmærksomt på den studerende). Den studerende uddyber sine overvejelser og FL tager tråden op. Den studerendes pointe har ikke direkte noget med den opståede tilsyneladende uoverensstemmelse at gøre, hvilket FL diskuterer lidt med sig selv og “ud i auditoriet”.

FL (mens han går lidt frem og tilbage, holder sin pegefinger på næseroden, kigger nu og da lidt ud i luften, nu og da på tavlen – han tænker...): “Men spørgsmålet er... til tidspunktet $t = 0$, hvorfor falder den ikke med noget der ligner ... hvorfor falder den ikke umiddelbart med noget der ligner $t^2...$ ”.

FL stopper lidt op og henvender sig til de studerende og siger: “Se, det er lige præcis sådan I skal gøre – det er dét, I skal lære ... simpelthen at sige forstår jeg overhovedet noget af det jeg er nået frem til og prøve at tænke over... Men det gør jeg ikke umiddelbart... og a’et... (pause) Nej,... Interessant, at det faktisk spiller en rolle lige med det samme – det a der...Løsningen er korrekt... jeg støtter mig til Jens Martins bog, han har fået den samme løsning,... håber jeg” (bladrer lidt i lærebogen).

En studerende stiller et spørgsmål vedrørende konstanten “a”.

FL svarer: “a er en konstant – fra tidernes morgen til tidernes afslutning..., men ”v” den er nul, så den størrelse der – den går hen og bliver 0... så den går lineært – det er meget sjovt; det havde jeg ikke tænkt over før – det er ikke bare et frit fald til at begynde med. a spiller en rolle lige med det samme...ok,...man skal lære så længe man har en lever...”

Back to business...

Herefter går FL i gang med at viske tavlen ren og siger: “Jeg har 5 minutter til at gå i gang med næste eksempel. Så vil jeg tænke lidt over, om jeg kan give en fysisk forklaring på, hvorfor a spiller en rolle allerede så hurtigt, også når v er lige med nul...hælningskoefficienten der – hvorfor den allerede spiller en rolle der... Vi skal i gang med sidste eksempel...”

Forelæsningsen fortsætter herefter og følger den i starten af timen opstillede dagsorden, hvor det næste

punkt er gennemgangen af et endnu et eksempel på løsning af bevægelsesligningen. I begyndelsen af den efterfølgende torsdags forelæsning tages eksemplet med væskekarret og den tilsyneladende uoverensstemmelse op igen. FL fortæller, at han fandt fejlen, mens han gik gennem Fælledparken på vej tilbage til sit kontor om tirsdagen. Han demonstrerer overfor de studerende, at man ved at bruge Taylor-udvikling kan vise, at kuglen også fra begyndelsen falder frit; altså som t^2 .

Kommentarer til forelæsningen

Forelæsningen kan fra mit analytiske standpunkt inddeles i tre forskellige faser, som i beskrivelsen ovenfor er markeret med overskrifterne "løsning af en bevægelsesligning", "Superman smider skjorten!" og "Back to business...".

Løsning af en bevægelsesligning

I den første fase, der starter med at modellen af det fysiske system skitseres på tavlen, er karakteren af den fysiske problemstilling – og måden den tackles på – kendt fra de fleste undervisningssituationer på grunduddannelsen. Problemet er her defineret af en "udenforstående aktør"; altså hverken af den, som skal erkende noget i forbindelse med problemløsningen (i dette tilfælde den studerende) eller af en iagttagelse af et fænomen i naturen, som ønskes beskrevet. Selvfølgelig repræsenterer kuglen i væskekarret en situation, der kan iagttages "i den virkelige verden", men problemstillingen er anderledes. I denne undervisningssituation ved alle deltagende, at de nødvendige og tilstrækkelige oplysninger til at kunne løse problemet er til stede og er velbeskrevne. Antallet af eksisterende kræfter er – uden at der sættes spørgsmålstejn ved dette – bestemt af "den udenforstående aktør" til at være i alt tre. Det er også klart for alle i lokalet, at mindst én iblandt dem (underviseren) på forhånd kender løsningen på problemet; såvel det endelige resultat som den nemmeste og den mest logisk sammenhængende fremgangsmåde til at nå fra det veldefinerede og givne udgangspunkt til det af underviseren velkendte endepunkt. Under forelæserens gennemgang af eksemplet følger løsningsprocessen en logisk struktureret, nydelig vej, uden overraskende afstikkere "væk fra retningen imod endepunktet". En situation fra forelæsningen, der illustrerer dette er underviserens udeladelse af numerisk-tegnet i $\ln|a|$, med begrundelsen at det senere vil vise sig, at argumentet til logaritmefunktionen altid er positivt.

Alt dette er der for så vidt ikke noget galt i og kan fra én synsvinkel ses som et spørgsmål om at underviseren er velforberedt og grundigt har gennemtænkt undervisningsforløbet. Dette er også den umiddelbare oplevelse, de fleste studerende har. Imidlertid er det slående, at den illustrerede problemløsning på alle de nævnte områder adskiller sig radikalt fra fysiske pro-

blemstillinger, der karakteriserer en forskende eller industrielt ansat fysikers daglige praksis.

Der er også en karakteristisk rollefordeling ved forelæsningen – mellem dem som er til stede med henblik på at lære noget bestemt og veldefineret (de studerende) og den (forelæseren), som er der for at hjælpe dem med at lære dette. Der ligger eksempelvis en fælles forventning om at det er underviseren, der definerer problemet, at han ligger inde med den rigtige måde at løse det på og at han i sidste ende har ansvaret for at det bliver løst.



Figur 2. Superman smider skjorten.

Det er endvidere værd at overveje, hvad der i undervisningssituationen for den studerende legitimerer den viden som læres – og hvilken betydning dette har for den studerendes rolle og deltagelse i undervisningen. Den type fysiske problemtyper og den viden, som formidles har først og fremmest sin anvendelse i forbindelse med eksamen – det er i denne specielle praksissammenhæng at denne viden for alvor kan gøre den studerende til en kompetent aktør. Dette forhold "virker tilbage på" den studerendes forståelse af sin rolle og på hans eller hendes deltagelse i undervisningen. I interview med studerende støder man ofte på vendinger som "jeg kommer til forelæsninger og teoretiske øvelser for at være sikker på at få det hele med". Spørgsmål stilles oftest til underviseren for at sikre, at man får den helt rigtige viden med hjem; den viden som man har brug for, hvis man skal kunne handle kompetent til eksamen. Spørgsmål, der stilles har meget sjældent en problemløsende funktion, hvilket denne

⁴Jeg hævder ikke, at den beskrevne undervisningssituation dokumenterer mine hypoteser og påstande, men derimod at den illustrerer nogle

første fase af undervisningen giver flere eksempler på⁴.

Superman smider skjorten!

Der opstår et brud i undervisningen kort efter at det endelige udtryk for kuglens position i karret som funktion af tiden er dukket op fra beregningerne (se (e), figur 1). Forelæseren har en intuitiv fornemmelse af, at kuglen i begyndelsen falder frit (med en acceleration korrigeret for opdriften) og vil demonstrere dette ved at sætte $t = 0$ og finde x -koordinaten som funktion af tiden. Problemet er, at han ved at gøre dette får en lineær tidsafhængighed og at han skyndingen får konkluderet at dette demonstrerer et frit fald.

Denne uoverensstemmelse "slår ham ud af kurs" og i de efterfølgende 5 minutter skifter problemløsningen og rollefordelingen radikalt karakter. Der er opstået et ikke-konstrueret problem, som forelæseren ikke ligger inde med den korrekte løsning til og ej heller med den logisk velstrukturerede procedure til at løse. Han er med andre ord nødt til at aktivere nogle af de problemløsningsstrategier, han anvender når han praktiserer sit fag som fysiker. Billedet af Clark Kent, der flår skjorten op og viser sin sande identitet som Superman når det brænder på, vil ikke ligge fjernt for dem, som er vokset op med den ugentlige leverance af Superman-bladet. De studerendes deltagelse i undervisningen ændres umiddelbart derefter – der opstår en summen i lokalet af stemmer, som spontant er gået i gang med at diskutere problemet og der stilles en række spørgsmål til underviseren. Nogle af disse har i modsætning til i første fase af forelæsningen, en klar problemløsende karakter og funktion. Én studerende foreslår at uoverensstemmelsen skyldes hastighedsafhængigheden af gnidningskraften (den er valgt som lineær – skulle den måske være kvadratisk?) og en anden at parameteren " a " måske alligevel ikke er konstant. Ingen af disse forslag giver forklaringen på uoverensstemmelsen, men i begge tilfælde reflekterer underviseren over forslagene og de indgår på den måde i hans søg på at løse det opståede problem.

Back to business...

Situationen med det uløste problem får kun lov til at fortsætte i ca. fem minutter. Det føles tilsyneladende ubekvemt for forelæseren (min fortolkning), at han ikke har fuldstændig kontrol over situationen og ikke umiddelbart kan levere den rigtige viden til de studerende. Blandt nogle af de studerende (hvor jeg sidder under forelæsningen) kan der også spores en vis utålmodighed, de har måske et behov for at komme videre, få den rigtige løsning serveret og derfor virker den ustrukturerede problemløsning forstyrrende. Derfor afslutter forelæseren eksemplet med en foreløbig konklusion (som ikke er rigtig) om at der ikke er tale om et frit fald fra begyndelsen. Han lover at løse problemet til den følgende torsdags forelæsning og dér præsentere

af de forhold, jeg forsøger at trække frem. Yderligere er jeg godt klar over, at min "tekstversion" af forelæsningen ikke giver samme oplevelse af f.eks. karakteren af de studerendes spørgsmål som min egen tilstedeværelse gjorde. Se evt. forelæsningsne (FL1, 2000; FL2, 2000).

den rigtige løsning. En pointe, der er værd at nævne i den næste forelæsning, er at forelæseren for at kunne demonstrere tidsafhængigheden og kuglens frie fald, er nødt til at introducere Taylor-udvikling som matematisk redskab. Dette sker adskillige uger før redskabet efter undervisningsplanerne skulle have været gennemgået i matematikundervisningen. "Superman-situationen" fører altså til, at progressionen i de studerendes læring for en kort stund bliver problembaseret, snarere end baseret på en opfattelse af at fagenes indhold er strengt hierakisk opbygget og at læring af et bestemt begreb dermed nødvendigvis kræver forudgående læring af de underliggende begreber.

Læringslandskabets to domæner

Jeg vil til slut forsøge at sætte analysen af forelæsningen ind i en bredere ramme. I en tidligere artikel [2] har jeg forsøgt at karakterisere det læringslandskab, de studerende på grunduddannelsen bevæger sig i, som bestående af to i de fleste sammenhænge adskilte domæner. Der er i denne artikel kun plads til kort at skitsere modellen, som er beskrevet grundigere og med andre eksempler i [2].

Det ene af de to domæner kan kaldes *Produktionsdomænet*. Det knytter sig til den praksis der involverer forskere, teknisk- og administrativt personale, gæster, ph.d.- og (nogle) specialestudende. Det helt centrale og samlende mål er *produktion af naturvidenskabelig viden*. Bestemte men ikke veldefinerede og regelbaserede problemløsningsstrategier, måder at anvende naturvidenskabelig viden og rollefordelingen mellem domænets aktører er blandt de elementer, der karakteriserer domænet. Som et eksempel på det sidstnævnte kan tages de specialestuderendes rolle som perifere, men legitime deltagere i forskergruppers praksis – i produktionen af videnskabelig viden.

Forelæsninger, teoretiske øvelser og de fleste af de studerendes daglige aktiviteter tilhører *Tilgængelighedsdomænet*. Her er de studerendes centrale opgave at *tilvejebringe sig forudproduceret viden*, som i deres konkrete situation legitimeres ved dens anvendelse til eksamen og ved antagelsen om at denne viden sidenhen kan overføres til produktionsdomænet og dér forholdsvis uproblematisk anvendes til at bidrage til vidensproduktionen. Den ovenfor diskuteret forelæsning eksemplificerer dette.

Modellen er simplificeret og barrieren mellem de to domæner er ikke vandtæt. Forelæsningsituationen, hvor "Superman smider skjorten" er et eksempel på at forskeren skifter rolle og dermed giver de studerende adgang til den praksis, der karakteriserer produktionsdomænet.

Det er *ikke* intentionen med artiklen at tegne et sort-hvidt billede af grunduddannelsen, men at give et eksempel på en bestemt tilgang til at belyse uddan-

nelsespraksis på fysikstudiet. En central del af det nævnte udredningsarbejde er at lave en solid diskussion af modellen med de to domæner med udgangspunkt i empiriske data. Et væsentligt og nødvendigt bidrag til dette arbejde kommer i form af kritik fra kolleger og undervisere i universitetsmiljøet. Derfor er artiklen også en udfordring til ikke at lade noget stå usagt.

Referencer:

- [1] Busch, H., K. R. Kristiansen, et al. (2000). Praksislæring på fysikstudiet. Kvant nr. 2.
- [2] Busch, H. (2001). Informal Learning in a Formal Educational System. NARST 2001 Annual Meeting, St. Louis, Missouri, USA. Email: busch@dpu.dk
- [3] FL1, Forelæsning nr. 2, uge 2, Fysik11 ved Københavns Universitet, (2000)
http://heppc13.nbi.dk:8080/ramgen/Fysik11/Fysik11-02-2.rm

- [4] FL2, Forelæsning nr. 3, uge 2, Fysik11 ved Københavns Universitet, (2000)
http://heppc13.nbi.dk:8080/ramgen/Fysik11/Fysik11-02-3.rm



Henrik Busch er Ph.D. i fysik og adjunkt ved Danmarks Pædagogiske Universitet.

Nyt fra Dansk Fysisk Selskab

Dansk Fysisk Selskab

Hjemmeside: www.nbi.dk/dfs

Dorthe Posselt (formand)
IMFUFA, RUC
4000 Roskilde

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

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

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

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

Ole Mouritsen (ogm@fki.dtu.dk)

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

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

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



rakte fra én-dimensionale krystaller i carbon nanotubes over mønsterdannelse i forbindelse med homoepitaxi og kvantemekaniske mange-legeme fænomener til Jocelyn Bell Burnells multimedieshow om pulsarer, der inkluderede både et pulsar "soundtrack" og en veritabel mimeforestilling. Som noget nyt var der i år to poster-sessioner, en ændring, der blev vel modtaget. Snakken gik som vanligt livligt særligt under den sidste poster-session efter den meget lækre middag torsdag.

Traditionen tro blev årsmødet for sektionen "Kvinder i Fysik" (KIF) afholdt allerede onsdag den 30. maj med omkring 25 deltagere. Der blev præsenteret interessante foredrag om tidevand, fysikdidaktik og materialefysik, og astronomen Jocelyn Bell Burnell gav et diskussionsoplæg om "females in physics". Som vanligt var diskussionen livlig, både af det fremlagte arbejde og i forbindelse med "kvinder i fysik" temaet. Efter veloverstået generalforsamling fortsatte udvekslingen af erfaringer i Hotel Nyborg Strands restaurant.

DFS årsmøde 2001

Dansk Fysisk Selskabs årsmøde på Hotel Nyborg Strand i dagene 31. maj – 1. juni 2001 må også denne gang betegnes som en succes. Der var ca. 210 deltagere i mødet, hvor der blev præsenteret omkring 70 poster og 35 timers foredrag. I år var der særlige sessioner for faststoffysik, atomfysik, astronomi/astrofysik, fagdidaktik samt kerne og højenergifysik. Et særligt højdepunkt i år var uddelingen af NKTs forskerpris, der gik til Lene Vestergaard Hau for hendes arbejde med "langsomt lys" (se midterindlæg i sidste nummer af Kvant). En session med præsentation af innovative danske firmaer baseret på fysik var et indslag, der blev vel modtaget. Mødets plenumforedrag

Generalforsamling i Dansk Fysisk Selskab

DFS's generalforsamling blev afholdt i forbindelse med årsmødet fredag den 1. juni. Regnskabet for 2000 blev fremlagt af Erik Horsdal Pedersen og udviste for 2000 et overskud på 73.354 kr., således at selskabets formue nu er 316.680 kr. Det ekstraordinært store overskud skyldes hensættelse i årene 1996–1999 af et beløb til distribution af Europhysics News – denne hensættelse er nu inddraget og tæller således som indtægt i 2000. Efter formandens beretning (aftrykt i Kvant nr. 2 (2001) side 24–25) fulgte generalforsamlingens højdepunkt med uddeling af posterpriser. Belønnet blev:

"Electrochemically Etched Nanoelectrodes" af Chri-

stoffer Greisen, Preben Thomsen, Louise Theil Kuhn, Jens Ulstrup og Ulrich Quaade [1], "Laser polarization of 129-Xe and its application in NMR spectroscopy" af Vibeke W. Jürgensen, W. Svendsen, B. Quistorff, L. Vejby og P. Borel [2], og "Laboratory studies of molecular hydrogen formation on interstellar dust grains" af Liv Hornekær, A. Baurichter, V. Petrunin, D. Field og A. C. Luntz [3].

Udstillere

På årsmødet udstillede HAMAMUTSU photonics Denmark, Pfeiffer-Vacuum, Haldor Topsøe A/S og Universitetsbogladsen. Links til disse firmaer kan findes på DFS's hjemmeside under "produktinformation".

Årsmøde 2001

DFS årsmøde 2002 finder sted 30.–31. maj på Hotel Nyborg Strand.

International Conference om Kvinder i Fysik

IUPAP (The International Union of Pure and Applied Physics) arrangerer en international conference omkring emnet "Women in Physics" [4]. Konferencen vil finde sted i perioden 7.–9. marts 2002 og bliver holdt i UNESCO's hovedkvarter i Paris. Konferencens formål er at forsøge at forstå, hvorfor der findes så få kvinder inden for fysik. Ved at belyse dette, håber IUPAP på at kunne komme med forslag til tiltag, der kan øge mængden af kvinder i fysik.

Grunden til at IUPAP vil arbejde for at få flere kvinder ind i fysik, er simpelthen, at de mener der er for få på nuværende tidspunkt. Kvinder udgør halvdelen af befolkningen, men mindre end hver femte forsker er kvinde. Selvom der er store forskelle landene imellem, er der en iøjnefaldende lighed i alle lande: andelen af kvinder falder markant for hvert trin på karrieren. Kvinder er en vigtig ressource til styrkelse af forskningens kvalitet. Fysik snyder derfor sig selv, hvis kvindernes potentiale ikke udnyttes i forskningen.

I forbindelse med konferencen er IUPAP gået igang med at indsamle statistik over, hvor mange kvindelige fysikere der findes i de forskellige lande. Desuden vil de forsøge at kortlægge de barrierer der evt. findes

for kvindelige fysikeres mulighed for at gøre karriere i de forskellige lande. Denne kortlægning af kvindelige fysikeres forskellige karriereforløb foretages via en stor spørgeskemaundersøgelse, og alle kvindelige fysikere (uanset hvad du idag arbejder med) opfordres til at deltage, så tøv ikke med at udfylde skemaet. Det findes på [5].

Det er arrangørernes tanke, at hvert land skal stille med en delegation bestående af mindst 5 personer, hvoraf **halvdelen gerne skulle være mænd**. Koordineringen af den danske deltagelse i konferencen, herunder at skrive ansøgninger om penge til deltagelse, forestås af Anja C. Andersen.



Konferencens logo.

Skulle du være interesseret i at deltage, så kontakt derfor venligst (**så hurtigt som muligt**): Anja C. Andersen, Astronomisk Observatorium, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø, e-mail: anja@astro.ku.dk, tlf: 35 32 59 69.

Referencer:

- [1] www.nbi.dk/dfs/abs2001final/ff50p.html.
- [2] www.nbi.dk/dfs/abs2001final/ff66p.html.
- [3] www.nbi.dk/dfs/abs2001final/aa21p.html.
- [4] www.if.ufrgs.br/~barbosa/conference.html.
- [5] www.if.ufrgs.br/~barbosa/questions.html.

Erratum:

Om bevidsthed, fysik og kosmologiske principper

I artiklen af Kay Akselbo i sidste nummer (Nr. 2 Juni 2001) skal der under punkt 6 på side 30 i stedet for "et fælles-subjektivt bevidsthedsindhold" have stået: "et

fælles-subjektivt bevidsthedsindhold (det objektivt bevidste)".

Klimapåvirkninger og -ændringer

Eigil Kaas, Danmarks Meteorologiske Institut.

Jordens middeltemperatur

Jordens klima styres især af følgende processer:

1. Den samlede mængde solstråling. Denne direkte mængde af solenergi varierer dels på grund af variationer i jordens bane om solen, dels på grund af variationer i solens aktivitet. Jo mere sollys, der tilføres Jorden, jo varmere vil det – alt andet lige – blive.

2. Størrelsen af refleksionen af solstråling, dvs. hvor stor en mængde solstråling, som kastes tilbage til verdensrummet og dermed ikke kan opvarme jord, luft og hav. Det er jordoverfladens udseende og atmosfærens sammensætning (inklusive skyer og partikler), der bestemmer, hvor meget solstråling, der tilbagekastes. Is- og snedækkede områder tilbagekaster meget sollys, mens det meste sollys, der når oceanernes overflade, absorberes og opvarmer havet. Hvide skyer (især lavtliggende skyer med mange små skydråber) tilbagekaster en meget stor del af sollyset. Højtliggende tynde isskyer tillader derimod passage af det meste af solstrålingen.

3. Styrken af drivhuseffekten (se boks). Drivhusgasserne og skyerne virker som isolerende lag, der hæver temperaturen. Jo kraftigere drivhuseffekt, jo varmere bliver det ved jordoverfladen og i det meste af atmosfæren. Det kan dog vises, at temperaturen i de øvre lag af atmosfæren vil aftage som følge af forstærket drivhuseffekt.

De observerede klimavariationer

Klimaet har varieret til alle tider som beskrevet andre steder i dette nummer af Kvant. De fleste kender f.eks. til istiderne, som med ca. 100.000 års mellemrum har domineret klimaet i den sidste million år. Men der har også været mindre variationer i nyere tid. Figur 1a er baseret på [1] og viser variationer i globale gennemsnitstemperaturer i atmosfæren i de sidste 1000 år estimeret ud fra en række direkte og indirekte temperaturindikatorer. Figur 1b viser, at de sidste 100 års temperaturstigning er sket i to omgange, først fra ca. 1910 til 1940 og siden fra ca. 1975 til nu [2]. Der er også målt temperaturstigninger et par km oppe i atmosfæren fra ca. 1960 til nu, som det ses af figur 1c [2]. Dog er stigningen her ikke tydelig i de sidste 20 år. Forholdene omkring de atmosfæriske temperaturmålinger diskuteres yderligere i [3]. Det konkluderes bl.a. der,

1. at forskellen i temperaturstigning nær jorden og lidt oppe i atmosfæren er reel (den er altså ikke en konsekvens af f.eks. målefejl eller af, at byområder er vokset op omkring målestationerne),

Drivhuseffekten

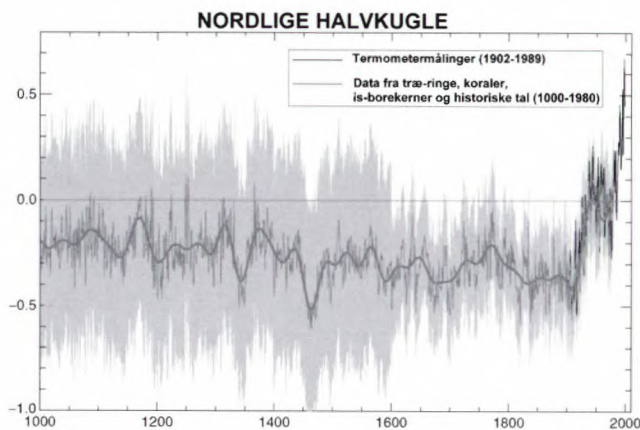
Det absorberede sollys opvarmer Jorden. Jorden slipper af med denne varme ved at udstråle infrarød stråling (varmestråling) til rummet. Hvis der ikke var nogen atmosfære, ville temperaturen ved jordoverfladen være mindst 30 °C lavere, end den faktisk er. En af de væsentligste årsager til denne forskel er drivhuseffekten, som altså er en naturlig effekt, der er afgørende for de nuværende former for liv på Jorden. Drivhuseffekten virker ved, at bestemte luftarter (drivhusgasserne) og skyerne absorberer en del af den varmestråling, der kommer nedefra. Dermed opvarmes atmosfæren. Atmosfæren slipper af med denne varme igen ved at drivhusgasser og skyer udstråler varmestråling både opad og nedad mod Jorden. Drivhusgasserne og skyerne virker på denne måde som en slags isolerende lag, der holder på varmen i atmosfæren, oceanerne og jordoverfladen. Temperaturen bliver således højere, end den ville være uden en atmosfære. De vigtigste drivhusgasser er vanddamp, kuldioxid, metan, lattergas, CFC-gasser (freongasser) og ozon. Per molekyle er vanddamp ikke særlig effektiv, men da denne gas forekommer i store koncentrationer i atmosfæren, er det den vigtigste drivhusgas.

2. at årsagen til forskellen sandsynligvis er en kombination af såkaldt interne klimafluktuationer (se afsnit 3 nedenfor), af udtynding af stratosfærens ozonlag, af vulkansk indflydelse og måske af varierende solaktivitet.

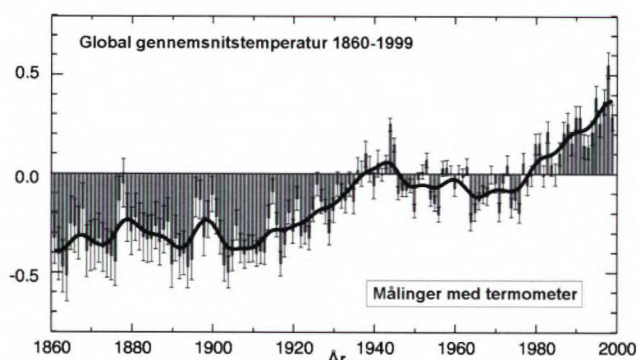
Figur 1d viser temperaturen i den nedre del af stratosfæren (fra 15–20 km's højde) [2]. Det ses, at der er sket et fald i temperaturen i denne højde. Faldet er afbrudt af kortvarige stigninger umiddelbart efter nogle store vulkanudbrud. Det skal bemærkes, at længere nede i atmosfæren og ved overfladen giver vulkanudbruddene en ret kortvarig afkøling. I den øvre del af stratosfæren op til 50 km's højde (ikke vist) er det generelle temperaturfald meget stort. Selv om satellitmålingerne er usikre i denne højde, ser det dog ud til at faldet over de sidste 20 år har været ca. 5 °C.

Hvilke processer får klimaet til at variere?

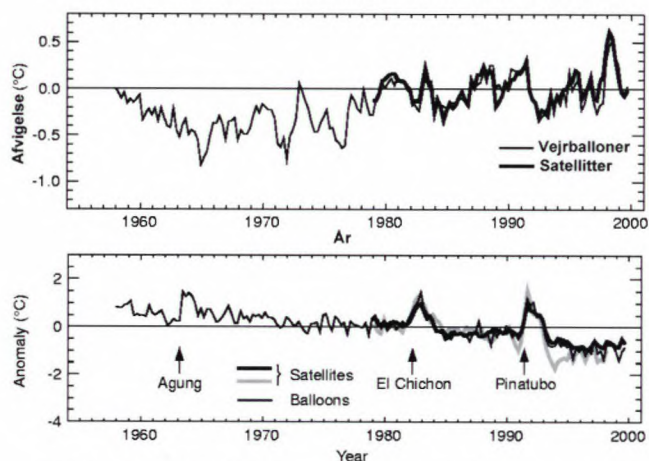
Når man skal vurdere årsagen til de observerede klimavariationer i de sidste par hundrede år samt størrelsen af de variationer vi må forvente i fremtiden, er det vigtigt at kende de mekanismer, der ligger bag variationerne/ændringerne. Variationer i klimaet på Jorden



Figur 1a. Estimeret temperaturkurve for den nordlige halvkugle nær ved jordoverfladen fra ca. år 1000 til nu. Figuren, der har en betydelig usikkerhed (indikeret med lys grå farve), er baseret på en række indirekte temperaturmål (fra bl.a. isborekerner træringe og koraller).



Figur 1b. Den målte globale temperatur nær overfladen fra 1860–1999. De lodrette sorte streger viser usikkerheden.



Figur 1c og 1d. Del c (øverste) viser den globale temperaturvariation fra 1958–2000 i omkring 3 km's højde målt fra vejrballoner og fra satellit. Del d (nederste) viser den globale temperatur i den nedre del af stratosfæren (ca. 15–20 km's højde) målt fra vejrballoner og satellitter. Tre store vulkanudbrud er markeret.

kan være “interne” og “eksterne”:

Interne variationer finder sted uden påvirkninger, dvs. “forcing”, i form af f.eks. forøget solstråling eller menneskeskabte udslip af drivhusgasser. De

interne variationer fra ti-år til ti-år skyldes primært vekselvirkninger mellem verdensoceanerne og atmosfæren. Efter sidste istids afslutning og set over længere tid (50–100 år eller mere) har størrelsen af udsvingene i disse variationer tilsyneladende været ret små på global skala. En af de mest kendte interne klimavariationer er det såkaldte ENSO fænomen, der er en tropisk vekselvirkning mellem oceanets tilstand i Stillehavet (El Nio) og atmosfærens tilstand i samme område (Southern Oscillation). I Danmark er variationer i vejrliget fra år til år og fra ti-år til ti-år ofte interne klimavariationer.

Eksterne klimavariationer skyldes en påvirkning af klimaet “udefra”. Påvirkningen kan være menneskeskabt eller naturlig. De typiske menneskeskabte påvirkninger er:

1. Udslip af drivhusgasser, der virker opvarmende i de nederste 10–15 km af atmosfæren, men afkøler atmosfæren i stor højde.
2. Udslip af små partikler (aerosoler), som virker afkølede på klimaet.
3. Udslip af gasser, der via nedbrydning af stratosfærens ozonlag, afkøler atmosfæren omkring 15 km's højde.
4. Ændringer i landoverfladens udseende. Dette giver primært anledning til regionale klimavariationer i f.eks. mængden af nedbør.

De naturlige påvirkninger er f.eks.:

1. Ændringer i solens aktivitet, som kan give både opvarmning og afkøling i de nederste 10–15 km af atmosfæren.
2. Vulkansk aktivitet, som fører til afkøling i de nederste 8–10 km af atmosfæren, men til opvarmning derover.

En opvarmning eller afkøling af jordoverfladen (menneskeskabt eller naturlig) medfører imidlertid også andre ændringer i klimasystemet, som kan forstærke eller dæmpe effekten af den oprindelige påvirkning. Man taler om positive og negative tilbagekoblinger. Nogle af de vigtige er:

1. “Stefan-Boltzmann tilbagekobling” er vel nok den vigtigste af alle tilbagekoblinger: Hvis Jorden/atmosfæren opvarmes, vil der blive udstrålet mere energi til verdensrummet. Energitalet er proportionalt med σT^4 , hvor σ er Stefan-Boltzmann's konstant og T er den effektive udstrålingstemperatur (som for Jorden er omkring 30°C lavere end den faktiske overfladetemperatur på grund af atmosfærens eksistens). Denne tilbagekobling er altså stabiliserende, dvs. negativ.

2. Vanddamp-tilbagekobling: En opvarmet atmosfære kan indeholde mere vanddamp end en køligere atmosfære. Vanddamp er imidlertid en drivhusgas, så et forøget vanddampindhold i atmosfæren kan føre til en yderligere opvarmning. Altså er dette en positiv tilbagekobling.

3. Sky-tilbagekobling: Der sker forskellige ændringer i skyernes karakter, når klimaet opvarmes. Nogle steder vil skymængden aftage, mens den vil tiltage andre steder. Som nævnt ovenfor tilbagekaster sky-

erne solens stråler til rummet (en afkølede effekt), men de øger også drivhuseffekten. Så der er altså tale om både negative og positive tilbagekoblinger fra skyer. Den samlede tilbagekobling fra skyer er usikker og kræver fortsat udforskning.

4. Sne/is-tilbagekobling: En generel opvarmning vil medføre en reduktion (ved smeltning) af snedækket over kontinenterne og havisdækket over oceanerne. Dette medfører mindre tilbagekastning af sollys til verdensrummet og dermed til en yderligere opvarmning. Altså igen en positiv tilbagekobling.

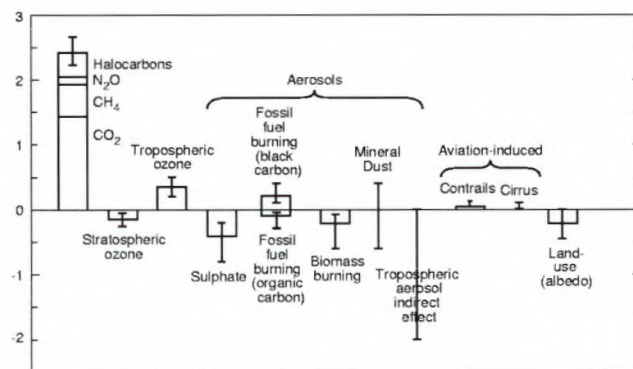
5. Impulsmoment/fordampnings-tilbagekobling [4]. I forbindelse med global opvarmning kan temperaturforskellen mellem troper og ekstratroper stige fordi virkningen fra vanddamptilbagekobling er kraftigere i troperne end i ekstratroperne. Herved vil der via den atmosfæriske dynamik ske en forøget udveksling af atmosfærisk impulsmoment (omkring jordens omdrejningsakse) mellem troper og ekstratroper. Dette medfører så igen en øget vindstyrke, så der sker en forøget afkølede fordampning fra havoverfladen. Altså en negativ tilbagekobling.

6. Beregninger (kapitel 3 i [2]) til dels baseret på forsøg har vist, at en generel opvarmning vil føre til øget frigivelse af bl.a. drivhusgassen kuldioxid fra jord og oceaner. Dette giver en positiv tilbagekobling på klimasystemet, som også har været aktiv i forbindelse med istiderne, idet der var meget lave kuldioxid- og metankoncentrationer under istiderne. Denne tilbagekobling er genstand for forskning, da den kan vekselvirke med de fremtidige klimaændringer som følge af menneskets udledninger af drivhusgasser.

Det skal bemærkes, at tilbagekoblinger generelt kun forstærker eller dæmper effekten af eksterne klimapåvirkninger. De vil normalt ikke ændre selve fortegnet af effekten, men er afgørende for størrelsen af den samlede globale klimaændring samt karakteren af ændringen i form af bl.a. geografisk fordeling.

I den faglige debat vedrørende varierende solaktivitet versus den menneskeskabte drivhuseffekts betydning for den globale temperaturudvikling i det 20. århundrede er det meget væsentlig at notere, at den samlede betydning af alle tilbagekoblinger næppe er voldsomt afhængig af karakteren af ekstern påvirkning [2,5]. Dette gælder især for påvirkninger, som er rimeligt rumligt homogene, dvs. dækker det meste af eller hele jorden med det samme fortegn.

Ved en given øjeblikkelig, men vedvarende klimapåvirkning sker den efterfølgende klimaændring ikke straks. Der er tale om en gradvis tilpasning til ændringen. I tilpasningsperioden bliver der netto tilført strålingsenergi til planeten Jorden og tilbagekoblingsmekanismerne begynder at virke / vekselvirke efterhånden som klimaændringen sker. I praksis bliver energien primært tilført verdensoceanerne, der har en langt større varmekapacitet end atmosfæren.



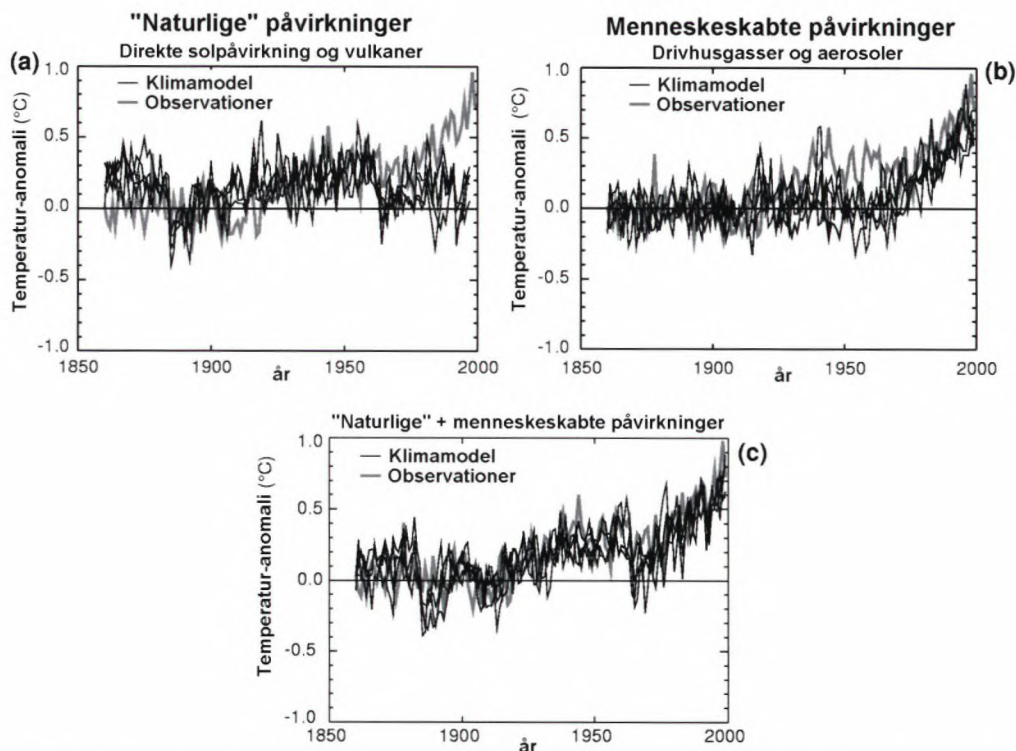
Figur 2. Estimeret ændring i strålingspåvirkning fra forskellige processer i perioden fra omkring 1750 til nu. Søjlen tv. viser den positive påvirkning fra drivhusgasserne. De fysiske processer bag alle søjler th. for "Sulphate" er dårligt forståede. Modificeret fra [2].

Hvilke påvirkninger har været vigtigst i de sidste hundrede år?

Der er både menneskeskabte og naturlige eksterne påvirkninger af klimaet. Til at vurdere styrken af de forskellige påvirkninger i forhold til hinanden benytter man bl.a. den såkaldte strålingspåvirkning [2]. Der er tale om en fysisk beregning, som meget kort sagt siger, hvor stor en netto mængde strålingsenergi der tilføres (eller fjernes, hvis der er tale om en afkølede påvirkning) atmosfæren, oceanerne og landjorden. Strålingspåvirkning angives almindeligvis i Watt per kvadratmeter. Figur 2 viser de menneskeskabte strålingspåvirkninger, der har fundet sted siden førindustriel tid [2]. Som det kan ses af den venstre søjle, er der sket en betydelig stigning i strålingspåvirkningen fra drivhusgasserne kuldioxid (CO₂), metan (CH₄), lattergas (N₂O) og halocarboner (bl.a. CFC-gasser). Dette hænger sammen med, at de atmosfæriske koncentrationer af de vigtigste drivhusgasser er steget betydeligt siden førindustriel tid. For kuldioxid, er koncentrationen således steget med ca. 31% siden 1770. På basis af bl.a. analyser af luftbobler i isborekerner fra Antarktis er det temmelig sikkert, at CO₂-koncentrationen nu er højere, end den nogensinde har været de sidste 470.000 år. Andre metoder viser endog, at den nu formentlig er højere, end den har været de sidste 20 millioner år. Der er ikke tvivl om, at stigningerne i koncentrationer af drivhusgasser de sidste par hundrede år skyldes menneskelig aktivitet – primært afbrænding af fossile brændsler som kul og olie.

Pladsen her tillader ikke en grundig gennemgang af alle påvirkningerne i figuren. Ganske kort kan det dog nævnes at:

1. Nedbrydning af stratosfærisk ozon giver anledning til en lille negativ påvirkning.
2. Stigningen i troposfærisk (de nederste 10–15 km) ozon giver en positiv påvirkning



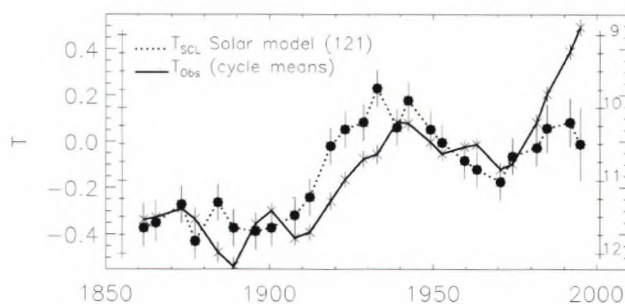
Figur 3. Den globale temperatur nær ved jordens overflade vist som afvigelse fra gennemsnittet i perioden 1961–90. De grå kurver viser de observerede temperaturer. Hver af de sorte kurver viser fire individuelle beregninger med en koblet atmosfære-ocean klimamodel fra Hadley Centeret i England. I del a er modellen blevet påvirket med den estimerede direkte effekt fra ændringer i solaktivitet samt med effekten fra vulkansk aktivitet. Tilsvarende viser del b simuleringer, hvor modellen er påvirket med menneskeskabte stigninger i koncentrationer af drivhusgasser samt med den menneskeskabte afkølende effekt af aerosoler. Del c viser simuleringer, hvor både menneskeskabte og naturlige påvirkninger er inkluderet. Tilpasset fra [9].

3. Effekten af udledninger af små partikler (såkaldte aerosoler) er meget usikker, men det er dog relativt sikkert, at den samlede direkte og indirekte påvirkning fra alle typer aerosoler har været negativ.

Der er betydelige usikkerheder i beregningerne af de fleste af påvirkninger i figuren. Dog er der generelt betydelig faglig enighed om størrelsen af den direkte påvirkning fra drivhusgasserne (venstre søjle). På grund af usikkerhederne og manglende forståelse, er den eksterne (naturlige) påvirkning fra solen ikke medtaget i figur 2. Det estimeres bl.a. af IPCC¹ [2], at den direkte ændring i påvirkning fra solen i form af mere strålingsenergi er mindre end $+0,5 \text{ Wm}^{-2}$. Det er dog meget vanskeligt at give et tal for de mulige indirekte solpåvirkninger, f.eks. via ændringer i kosmisk stråling som foreslået af [6] og senere af [7,8]. Dette skyldes, at teorien bag denne mekanisme endnu ikke er fuldt forstået. Som det ses i figuren skal variationer i denne effekt være større end $1,5 \text{ Wm}^{-2}$ for at overstige den menneskeskabte drivhuseffekt.

En anden måde at vurdere den relative betydning af de forskellige klimapåvirkninger er at benytte såkaldte klimamodeller til at se, om man kan rekonstruere den observerede udvikling af de globale temperaturer, som er vist i figur 1. En klimamodel er en comput-

ermodel, som simulerer atmosfærens, oceanernes og landjordens fysik, samt deres indbyrdes vekselvirkning.



Figur 4. Den fuldt optrukne kurve viser den observerede temperatur nær jordoverfladen på den nordlige halvkugle. Den stiplede kurve med sorte prikker viser forløbet af solpletcyklængden.

Hovedformålet med modellerne er at lade dem beregne de forskellige tilbagekoblinger, hvoraf nogle er nævnt ovenfor. Figur 3 (sorte kurver) viser resultatet af sådanne beregninger [9]. Del a viser temperaturen nær jordoverfladen i simuleringer, som er startet i år 1860 og derefter påvirket med den estimerede variation i direkte solstråling samt med vulkansk aktivitet. Del b viser simuleringer med menneskeskabte påvirkninger

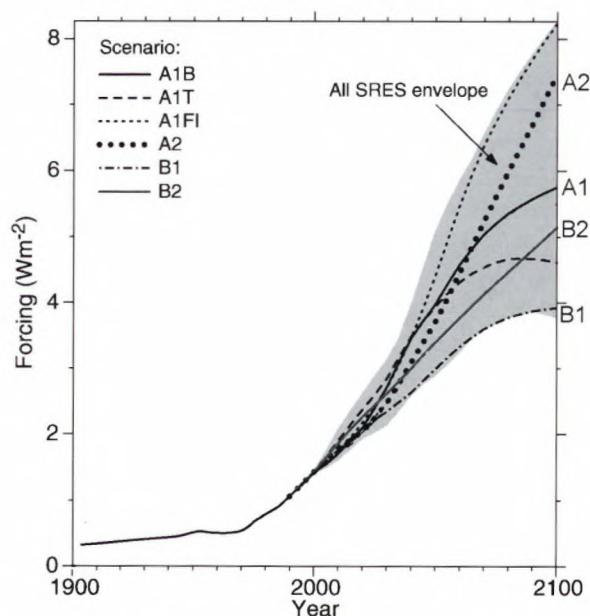
¹Intergovernmental Panel on Climate Change

(drivhusgasser og aerosoler) og del c viser begge dele. Ifølge simuleringerne

1. kan stigningen fra ca. 1900–1940 formentlig forklares med naturlige påvirkninger,

2. er en væsentlig del af temperaturstigningen efter ca. 1970 med stor sandsynlighed menneskeskabt,

3. er der ikke umiddelbart “plads” til andre væsentlige påvirkninger som f.eks. indirekte solpåvirkning via kosmisk stråling og skyer.

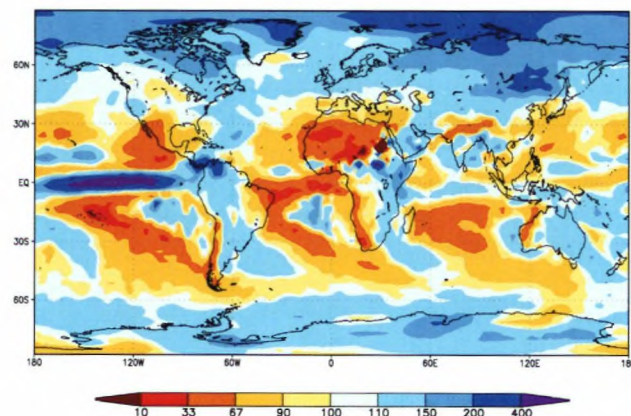


Figur 5. Ændring i strålingspåvirkning i forhold til førindustriel tid ifølge IPCC's nye scenarier for udslip af drivhusgasser og sulfataerosoler [14].

Det sidste punkt er naturligvis kontroversielt, og skal ikke opfattes som noget endegyldigt “bevis” for, at den indirekte solpåvirkning foreslået af [7] og [8] ikke har nogen betydning. Sagen er jo, at resultatet i figur 3 afhænger af den anvendte models såkaldte følsomhed dvs. den simulerede ændring i global middeltemperatur som følge af en given påvirkning (“forcing”). Hvis modellen har for stor følsomhed i forhold til naturen, har den overdrevet opvarmningen som følge af påvirkningen med drivhusgasser. Og hvis dette var tilfældet ville der naturligvis være plads til andre påvirkninger. For at være af betydning må denne/disse dog have en energipåvirkning, der er sammenlignelig med eller større end den fra f.eks. den tiltagende drivhuseffekt. Desværre er der ikke mange muligheder for at benytte fortidens information til at eftervise, om en klimamodels følsomhed er for stor eller lille. Det er fordi man ofte ikke kender fortidens påvirkninger eller klimavariationer med tilstrækkelig nøjagtighed. Men de forsøg, som der har været gjort blandt andet for den midterste del af Holocen [10,11] tyder dog på, at modellernes følsomhed er rimelig. En anden støtte for modellerne er, at de ganske godt simulerer den årlige variation i klimaparametre, såsom vind, temperatur og nedbør. Dette er jo en forceret variation, der især på

høje breddegrader er meget stor.

En tredje mulighed for at vurdere påvirkninger er at “finde” dem ved rent empirisk at sammenholde forskellige typer data. I [12] blev det fundet, at perioden mellem på hinanden følgende solpletmaxima (og minima) varierede på næsten samme måde som temperaturen over land på den nordlige halvkugle. Når perioden var kort (omkring 10 år), var temperaturen høj, og når den var lang (omkring 12 år), var temperaturen lav. Dette resultat er af og til brugt som en slags bevis for, at variationer i solaktiviteten kunne forklare hele temperaturforløbet i de sidste ca. 100–140 år. Der var med andre ord “ikke brug for” drivhuseffekten til at forklare den globale opvarmning. Nye beregninger af [13] viser imidlertid, at når de seneste observerede solpletdata og temperaturer tages med i undersøgelsen, opnås kun en fin sammenhæng indtil omkring 1975, hvorefter de observerede temperaturer stiger mere, end man skulle forvente, hvis sammenhængen fortsatte (se figur 4). Bemærk, at forløbet af den stiplede kurve i figur 4 i 1900-tallet passer nogenlunde med den sorte modelkurve i figur 3a.



Figur 6. Resultat af klimamodellsimuleringer udført ved Danmarks Klimacenter, der viser den procentvise ændring i nedbøren i månederne dec-jan-feb i scenariet A2 i perioden 2071–2100 relativt til perioden 1961–1990. Farven indikerer, hvor stor ændringen er. Se også billedet på forsiden af Kvant samt [15] for yderligere detaljer.

Fremtidens klima

IPCC har opstillet en række scenarier (se [14]), som beskriver forskellige mulige udviklinger i økonomi, teknologi, befolkning og kultur. På basis af disse har man estimeret fremtidens udslip af drivhusgasser og sulfat-aerosoler. Figur 5 viser den totale strålingspåvirkning i perioden fra 1990 til 2100 for alle disse scenarier. Som det kan ses, er der generelt tale om

meget store stigninger i klimapåvirkningen i forhold til det vi har set fra førindustriel tid til nu.

Danmarks Klimacenter ved DMI har anvendt en klimamodel til at beregne, hvor store klimaændringerne bliver som konsekvens af de to scenarier A2 og B2 i figur 5. Hovedresultaterne for månederne dec-jan-feb fra A2 simuleringen er vist på forsiden af dette blad samt i figur 6 (B2 minder meget om A2 men ændringerne er lidt mindre). Resultaterne fra de nye beregninger er detaljeret beskrevet i [15] og de indgår i [2]. Det skal bemærkes, at den anvendte model har en følsomhed, som er næsten lig den for modellen i figur 3, og at resultaterne i mange sammenhænge kan siges at repræsentere et gennemsnit af de nyeste modelresultater, som er refereret i [2]. Som det ses af forsidefiguren, simuleres der store stigninger i vintertemperaturen i de arktiske egne inden for de næste 100 år. Samtidig stiger nedbøren væsentligt i dette område – især på denne årstid. Mange steder i subtropen og den varmere del af de tempererede egne bliver nedbøren mindre; dette gælder dog især om sommeren. Et typisk træk, som hænger sammen med de store temperaturstigninger om vinteren, er et betydelig fald i det gennemsnitlige lufttryk over Arktis. De tilhørende vinde ændrer sig, så der f.eks. i gennemsnit bliver mere vestenvind ind mod Europa. I Danmark viser beregningerne, at temperaturstigningen bliver på ca. 3–4 grader, nogenlunde lige meget sommer og vinter, mens der ikke simuleres store ændringer i nedbørmængderne, bortset fra en mulig moderat forøgelse af nedbøren om efteråret og vinteren og et tilsvarende muligt lille fald om sommeren. Andre beregninger fra Danmarks Klimacenter viser, at nedbøren sandsynligvis vil falde mere intenst, dvs. der falder mere på en gang, når det endelige regner (eller sneer).

Disse resultater falder fint inden for IPCC's generelle vurdering, der siger at de globale temperaturer sandsynligvis vil stige med 1,4–5,8 grader inden for de næste hundrede år. Usikkerheden i tallet dækker dels over usikkerhed i de fremtidige udslip af drivhusgasser og skæbnen af disse gasser i klimasystemet, dels over begrænsninger i beskrivelsen af klimaets fysik i computermodeller. Alle klimamodeller, der indgår i IPCC's vurderingsrapport viser en stigning i vinternedbøren i arktis samt et fald i nedbøren i mange subtropiske egne (f.eks. omkring Middelhavet). Der er dog ikke enighed om den præcise regionale fordeling af ændringerne.

En af de vigtige konsekvenser af global opvarmning er havniveaustigninger. I de første ca. 100 år vil stigningerne ikke blive store (0,2–0,5 m), men senere vil stigningerne blive meget større, hvis den globale opvarmning fortsætter.

De klimaændringer, der ventes allerede inden for de kommende 50–100 år, er meget store sammenlignet med de naturlige variationer siden sidste istids afslutning for ca. 10.000 år siden. Hvis vi mennesker sænker udslippene af drivhusgasser nu, vil det dog først rigtig kunne mærkes om 50 år eller mere. Dette skyldes, at der

er en stor forsinkelse i klimaets reaktion på udslippene. Dette gælder især for stigninger i havniveauet. Set fra et klimasynspunkt vil målene for hurtige begrænsninger i udslippene af drivhusgasser derfor primært være:

1. At formindske de ellers meget store ændringer, som må forventes fra om ca. 100 år og derefter. For Danmark drejer det sig især om sandsynlige vandstandsstigninger på op mod flere meter inden for de næste 500 år.

2. At undgå uventede drastiske klimaændringer. Drivhuseffekten er en fundamental brik i jordens klima. Den har formentlig været en ikke uvæsentlig medspiller (via kuldioxid- og metan-tilbagekoblinger) i forbindelse med istidens kommen og gåen. Der er dog stadig fundamentale processer og tilbagekoblinger, som ikke er tilstrækkelig forståede, og som især på lang sigt gør beregninger over konsekvenser af menneskets udslip meget usikre. Dette gælder bl.a. manglende forståelse af fysikken bag de globale havstrømme og af tilbagekoblinger for kuldioxid og metan koncentrationer samt flere processer (tilbagekoblinger), der involverer atmosfærens, oceanernes, landjordens og havisens fysik.

Til slut bør det nævnes at scenarier ikke er egentlige prognoser uanset hvor gode klimamodellerne måtte blive i fremtiden. Der er blandt andet variationer i de naturlige klimapåvirkninger, som man ikke vil kunne medtage, fordi de ikke kan forudsiges. Dette gælder f.eks. variationer i solens aktivitet, idet man ikke kan forsige solens opførsel mange årtier frem – i hvert fald ikke med det nuværende videngrundlag. Det skal bemærkes, at de menneskeskabte klimapåvirkninger, der ventes i løbet af de næste 50–100 år (figur 5) er så store, at de formentlig overstiger de variationer i påvirkning, der har været efter afslutningen af sidste istid. Det må således konkluderes, at det er sandsynligt, at klimaet vil ændre sig ganske meget i de næste 100 år, selv om naturlige variationer i påvirkning kan give anledning til en mindre forstærkning eller svækkelse i disse ændringer.

Referencer:

- [1] Mann, M.E., R.S. Bradley, and M.K. Hughes, (1999). *Geophysical Research Letters*, bind 26, side 759–762.
- [2] IPCC (2001). Contribution of Working Group I to "The Third Assessment Report" of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press. Se også www.ipcc.ch
- [3] Kaas, E., (2001) "Den globale temperaturudvikling og drivhuseffekten", Se DMI's hjemmeside (www.dmi.dk) under nyheder eller direkte på www.dmi.dk/vejr/aktuelt/200102091700/NYHED2.HTML
- [4] Bates, J.R (1999). *Tellus*, bind 51A, side 349–372
- [5] Hansen, J., M. Sato, and R. Ruedy (1997). *Journal Geophysical Research*, bind 102, side 6831–6864.
- [6] Pudovkin, M. and S. Veretenenko (1995). *Journal of Atmospheric Terrestrial Physics*, bind 57, side 1349–1355.
- [7] Svensmark, H. and E. Friis-Christensen (1997). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, bind 59, side 1225–1232.

- [8] Marsh, N.D. and H. Svensmark (2000), *Physical Review Letters*, bind 85(23), side 5004–5007.
- [9] Stott, P.A., SFB. Tett, G.S. Jones, M.R. Allen, J.F.B. Mitchell and G.J. Jenkins (2000) *Science*, bind 290, side 2133–2137.
- [10] Braconnot, P., S. Joussaume, O. Marti and N. de Boblet (1999). *Geophysical Research Letters*, bind 26, side 2481–2484.
- [11] Braconnot, P., O. Marti, S. Joussaume and Y. Leclainche (2000). *Journal of Climate*, bind 13, side 1537–1553.
- [12] Friis-Christensen, E. and K. Lassen (1991). *Science*, bind 254, side 698–700.
- [13] Thejll, P. and K. Lassen (2000). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, bind 62, side 1207–1213.
- [14] IPCC (2000): Emissionsscenarier. DMI's oversættelse af IPCC's særrapport: Emissions Scenarios, Summary for Policymakers. web.dmi.dk/f+u/publikation/Dkc00-3.pdf
- [15] Stendel, M, T. Schmith, E. Roechner and U. Cubasch (2000). Danish Climate Centre Report no. 00-6. web.dmi.dk/f+u/publikation/Dkc00-6.pdf.
- [16] Christensen, O. B., 2000: "Drivhuseffekten og regionale klimaændringer". Danish Climate Centre Report no. 00-6. web.dmi.dk/f+u/publikation/Dkc00-2.pdf



Eigil Kaas er forskningsleder på Danmarks Meteorologiske Institut.

Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Hjemmeside: www.snu.nbi.dk

Direktionen for SNU udgøres af:

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

Professor Søren Brunak

Professor Poul Erik Hansen

Lektor Erik Schou Jensen

Direktør, adjungeret professor Ole Mørk Lauridsen

Lektor Malte Olsen

Lektor Finn Berg Rasmussen

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



Ørsted Medaljen uddelt til Direktør Asger Høeg

H. C. Ørsted Medaljen i bronze blev den 1. oktober 2001 overrakt til Direktør Asger Høeg for hans mangeårige arbejde for Eksperimentarium samt som initiativtager til Dansk Naturvidenskabsfestival i 1998.

I sin takketale kom Asger Høeg ind på Ørsteds virke

og sagde bl.a.:

"I 1824 stiftede Ørsted Selskabet for Naturlærens Udbredelse, og i 1829 etablerede han Den Polytekniske Lærestanstalt. En stor del af grundlaget for Danmarks øgede rigdom igennem årene fra midten af 1830'erne og frem til i dag ligger i Den Polytekniske Lærestanstalts virke.

H. C. Ørsted gjorde i juli 1820 sit epokegørende eksperiment, der påpegede elektromagnetismen. Hans banebrydende virke skete i brydningstiden mellem landbrugssamfundet og industrisamfundet. I disse år oplever vi brydningerne ved overgangen fra industrisamfundet til hvad jeg – optimistisk – kalder kultursamfundet.

I begge situationer, er der behov for at kæmpe for naturvidenskabens position.

H. C. Ørsted gjorde en jätteindsats for naturvidenskaben. Man har ofte spurgt, hvorfor Ørsted ikke selv gik videre med de eksperimenter og den forskning, som især Faraday høstede sine laurbær på.

Svaret er måske det enkle: At H. C. Ørsted simpelthen ikke havde tid nok til forskningen. Ørsted holdt utrolig mange forelæsninger. Da Selskabet for Naturlærens Udbredelse blev stiftet i 1824 påtog han sig den store opgave at afholde ikke mindre end 4 forelæsninger om ugen for almenheden i tidsrummet fra 18.30–20.00. Og det vel at mærke udover hans andre gøremål som professor ordinarus ved Københavns Universitet og sekretær for Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab. H. C. Ørsted var altså en forsker, der formåede.

Lad mig trække Ørsteds virke op til nutidens problemstilling. Befolkningen og især ungdommen interesserer sig mindre for naturvidenskaberne end tidligere. Jeg tror det i bund og grund er et udslag af den ufattelige

rigdom, som har præget den vestlige Verden siden Den Anden Verdenskrig. Velfærden har skubbet os vesterlændinge højere og højere op ad Maslows Behovspyramide. Ungdommen sidder på toppen af pyramiden og ønsker mest af alt at realisere sig selv. Her har naturvidenskaben kun en birolle. For første gang siden år 1500 er naturvidenskaben nødt til at forsvare sin eksisteretberettigelse.

Den naturvidenskabelig forskning kræver bevillinger for at aflønne forskerne, love der giver forskerne lov til at forske samt begavede, unge mennesker, der vil bruge sit liv på naturvidenskabelig forskning.



Dorte Olesen, SNU, og Asger Høeg.

Folkelig forståelse for forskningen er således et helt afgørende vilkår for naturvidenskaben. Den kan kun opnås ved at forskerne bruger masser af tid på at fortælle, folkeligt om deres forskning. Det gjorde H. C. Ørsted. Han kom måske ikke så langt ad forskningens lysende vej, som han kunne have gjort, hvis han havde lagt formidlingsopgaverne til side. Vi skal lære af Ørsted.

Universiteterne skal indføre spilleregler, som skaber prestige, når man formidler sin forskning.

Ørsted havde en spændende disput med Grundtvig, som hævdede om fysikken: *Gudsfor nægtelse var dens første ord, trolldom og guldsmageri dens kæreste bedrift og nu brøler den mod den levende Gud.*

Det kunne Ørsted naturligvis ikke lade stå uimodsagt. Han gendrev med stærke ord Grundtvigs påstande. Grundtvig var lige ved at kløjs i det af arrigskab, da han læste Ørsted. *Hvem er den falske profet*, brølede Grundtvig ud i Verdensrummet. Ørsted optrådte nemlig for en gangs skyld anonymt.

Min pointe er, at Grundtvig hviler dybt i mange af os danskere. Han har fat i den danske folkesjæl. Men Grundtvig fik altså naturvidenskaberne galt i halsen. Og det lider Danmark måske under den dag i dag. En af mine mantraer er derfor også, at der er alt for lidt Ørsted og for meget Grundtvig i os danskere.

Vi står altså i omdrejningspunktet fra industrisamfundet til kultursamfundet. Velfærden har mindsket vores attrå mod naturvidenskabelig forskning. Vi vil hellere forske i vores eget vidunderlige JEG. Men udviklingen fortsætter og mennesket må og skal finde sin rolle i det kommende kultursamfund. Derfor er en stærk, bevidst naturvidenskabelig og teknisk dannelse i Danmark vigtigere end nogensinde."



Merete Bilde fik Kirstine Meyers legat overrakt af professor Ole John Nielsen.

Kirstine Meyers Legat

Ved samme lejlighed blev Kirstine Meyers mindelegat uddelt til Ph.D. Merete Bilde fra Kemisk Institut ved Københavns Universitet. Merete Bilde fik legatet for sin forskning indenfor atmosfærekemi. Merete Bilde er 31 år og er efter en omfattende uddannelse både i Danmark og USA nu Ole Rømer Stipendiat ved Kemisk Institut på Københavns Universitet, hvor hun er i gang med at opbygge sit eget aerosol laboratorium. Her vil hun studere aerosolers fundamentale fysiske og kemiske egenskaber, samt hvordan aerosoler dannes og omdannes i atmosfæren.

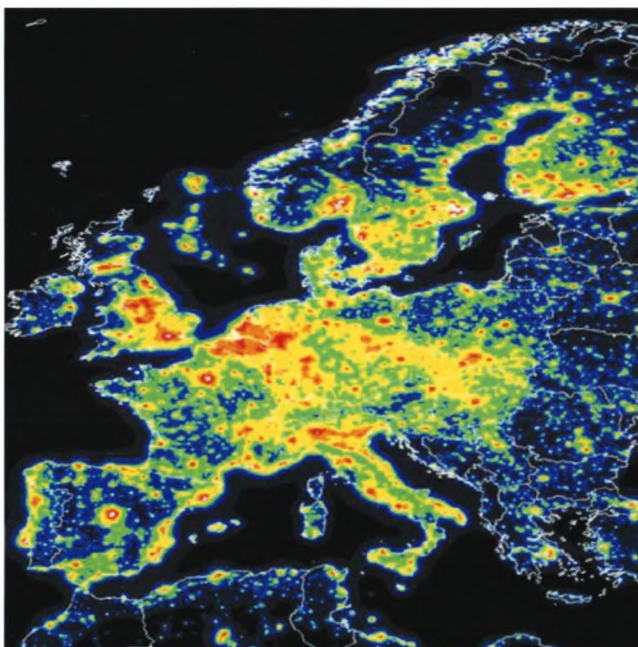
I forbindelse med overrækkelsen fortalte præsidenten for SNU, Dorte Olesen, om Kirstine Meyers virke og annoncerede at SNU var på vej med en ny webstrategi i samarbejde med en række parter, der har interessen for at formidle seriøs videnskab som hovedmål.

KVANT-nyheder

Redigeret af Michael Cramer Andersen

Lysforureningen breder sig

GEOFYSIK. Dette smukke billede af vores kontinent viser hvor meget kunstigt lys nu forurener. Man skal snart rejse langt, f.eks. til det mørke Afrika eller Sydamerika for at se en mørk nattehimmel som i gamle dage. Det er ærgerligt, at stjernehimmelen ikke længere er hvermandseje. Det mørkeste sted i Danmark er Anholt. I Nordsøen ligger de engelske, norske og danske olieplatformer og oplyser et område større end Sjælland. At det er et reelt problem viser kortet tydeligt. I de tættest befolkede områder (orange og røde), hvor neon-reklamerne og gadebelysningen er mest udbredt, kan man ikke skelne Mælkevejen (det samlede skin fra ca. 300 mia. stjerner) men kun de omkring 100 klareste stjerner. Man kan så vælge at affinde sig med det, rejse væk fra de lysforurenede områder eller besøge et planetarium hvor man kan se en kunstig stjernehimmel med ca. 8000 stjerner. Her kan man stadig fantasere over vores kosmiske oprindelse.



Figur 1. Europas lysforurening. Farvekoden viser kunstigt lys i forhold til nattehimmelen: Sort=tusindvis af stjerner synlige, blå=svage stjerner usynlige, grønt=lysforureningen gør mange stjerner usynlige, gult=Jordens lys kraftigere end nattehimmels lys, orange=Mælkevejen usynlig på selv de klareste nætter, rødt=færre end 100 stjerner synlige med det blotte øje. Copyright Royal Astronomical Society (MNRAS). Credit: P. Cinzano, F. Falchi, C. D. Elvidge.

Kilde: www.lightpollution.it/worldatlas/pages/fig1.htm
"Færre stjernestunder i Europa", Berlingske Tidende 25. februar 2001.

Chokbølger i Calabash tågen

ASTROFYSIK. Rumteleskopet Hubble har observeret en planetarisk tåge under selve dannelsesprocessen med tydelige chokbølger. Gassen strømmer ud fra den døende stjerne med hastigheder på op til 1,5 mio. km/t hvorved den gule del af gastågen er dannet. Ved den voldsomme kollision mellem stjernevindens gas og den omkringliggende interstellare gas dannes supersoniske chokfronter (den blå del af tågen). Formen af chokfronterne bekræfter teoretiske beregninger af fænomenet. Den blå del af lyset kommer fra brint og ioniseret kvælstof.



Figur 2. Chok-bølger i Calabash-tågen. ESA/NASA 2000.

Kilde: <http://sci.esa.int/hubble/news/index.cfm?oid=28169>

Rejsen til Saturn

RUMFART. Rumsonden Cassini/Huygens der er på vej mod Saturn har passeret Jupiter. Under den 70 dage lange passage optog sonden billeder af Jupiters komplekse vejrsystem og fandt bl.a. stabile vejrsystemer nær polerne. Cassini/Huygens vil efter beregningerne nå Saturn i januar 2005 hvor Huygens sonden vil blive frigjort og sendt ned i Saturn-månen Titans atmosfære. Midaldrende læsere, som husker den danske tegneserie "Rejsen til Saturn", af Claus Deleuran kan glæde sig til et snarligt genoptryk.

Kilde: www.jpl.nasa.gov/cassini/english/
www.jpl.nasa.gov/jupiterflyby/news/chaos-patterns.html

Ørsted-satellitten måler stadig

DANSKE SATELLITTER. Der kredser nu tre satellitter omkring Jorden med næsten samme instrumentpakker som Ørsted satellitten: Ørsted-satellitten, den tyske CHAMP og den argentinske SAC-C. Forskerne kan ved at sammenligne målingerne fra de tre positioner adskille det magnetfelt der skyldes Solens påvirkning (gennem solvinden) fra Jordens hovedmagnetfelt. Ørsted-satellitten har været så robust, at den stadig leverer videnskabelige resultater efter 30 måneder i kredsløb. Et sådant arsenal af geomagnetiske satellitter giver altså nye muligheder for at få viden om Jordens kerne der forårsager hovedmagnetfeltet og om de vekslende elektriske strømme rundt om Jorden, bl.a. i *Van Allen strålingsbæltet*.

Kilde: Pressemeddelelse, DRI 15. august 2001.

Antiprotonens masse og ladning

PARTIKELFYSIK. Paul Dirac forudsagde i 1930 eksistensen af antipartikler. Én antipartikel for hver partikel (elektronen, protonen, neutrinoen m.m.). Antipartiklerne har samme egenskaber som deres forbilleder men modsat ladning. Men hvor præcist kan man bestemme dette? Positronen (elektronens antipartikel) blev fundet i 1932 og antiprotonen i 1955. Ved CERNs "Antistoffabrik" produceres nu store antal antiprotoner i højenergikollisioner og antiprotonerne samles, køles og nedbremses med CERNs Antiproton Decelerator hvorefter de dirigeres til eksperimenter der kan bestemme partiklernes ladning og masse.

I et japansk-europæisk eksperiment sendte man antiprotoner ind i en flaske fyldt med helium hvorved en antiproton (med negativ ladning) går ind i en næsten cirkelformet bane og erstatter en elektron. Efter et mikrosekund overgår den til en tættere bane. Dette sker igen og igen indtil antiprotonen kommer for nær en heliumkerne og annihilere med en proton eller neutron. CERN fysikerne havde tid nok til at måle ultraviolette overgange i det bizarre "antiprotoniske" heliumatom. Overgangene blev induceret med en laser og ud fra energiniveauerne kunne atomfysiske størrelser, hvor antiprotonens ladning og masse indgår, bestemmes. Ved et andet eksperiment blev e/m -forholdet (ladning/masse) bestemt og de to størrelser kunne adskilles. Resultatet var at værdierne stemte med de tilsvarende for protonen (modsat fortegn på ladningen) indenfor 60 billiontedele eller $6 \cdot 10^{-11}$.

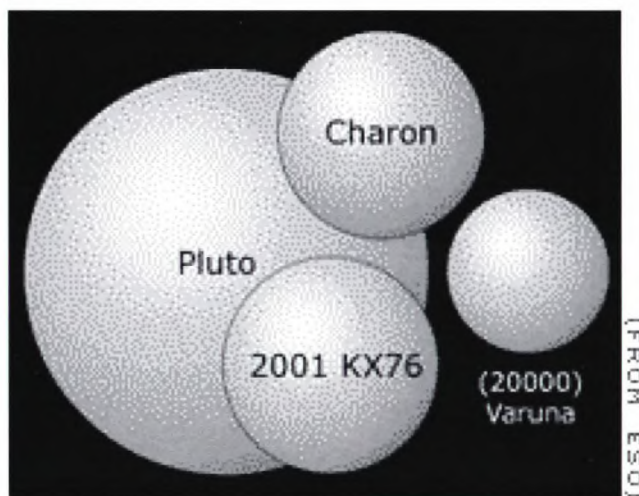
Antipartikler adlyder altså de samme naturlove som almindeligt stof. Når de annihilere med deres respektive partikler bliver der ingen ladning eller masse til overs. Vi er omgivet af partikel-antipartikel par som konstant skabes overalt i vakuum som virtuelle partikler der snart igen annihilere. Der er interessante perspektiver i at producere og gemme antistof.

Kilde: AIP Physics News 552.

cern.web.cern.ch/livefromcern/antimatter/factory/AM-factory04.html

Flere større objekter i Solsystemet

PLANETFYSIK. Ceres er både den første asteroide der blev opdaget (1801) og den hidtil største med en diameter på ca. 950 km. Rekordens holdt i 200 år. Nu er der nemlig opdaget en ny *fjern asteroide* (et is-objekt længere ude end Pluto), med navnet "2001 KX76" som er lidt større end Ceres med en diameter på mellem 1200 og 1400 km. Størrelsen er estimeret af den danske astronom Richard West ved ESO. Observationerne blev foretaget af verdens første virtuelle teleskop, *Astrovirtel* hos ESO som analyserer observationer i et arkiv over tidligere observationer fra virkelige teleskoper. En ny måde at forske på som er ved at vinde frem og altså kan give bonus. Det nye objekt er blandt de største objekter i Kuiper-bæltet som de fleste kortperiodiske kometter kommer fra. De består ligeledes mest af is og fordi deres baner bringer dem tæt på solen fordamper noget af deres is og danner en hale. 2001 KX76 er halvt så stor som Pluto og lidt større end Plutos måne Charon. Der er nu opdaget flere hundrede sådanne objekter og der gemmer sig måske 10-100 tusind is-objekter i Kuiper-bæltet. Bliver selv Pluto udkonkurreret? Astronomer er begyndt at betragte Pluto som det (endnu) største eksempel på et antal af mange tusinde Kuiper-bælte objekter.



Figur 3. De største Kuiper-bælte objekter efter størrelse: Pluto, "2001 KX76", Charon og Varuna.

Kilde: <http://sci.esa.int/hubble/news/index.cfm?oid=28146>
www.cnn.com/2001/TECH/space/08/24/minor.planet/
ASTROVIRTEL, www.stecf.org/astrovirtel/

Universets største gåder

KOSMOLOGI. Det Europæiske Rumagentur, ESA, har udgivet en 12 siders brochure om PLANCK-missionen, der skal måle på den kosmiske mikrobølgebaggrundsstråling. Den lille publikation henvender sig til offentligheden som venter lige så spændt på opsendelsen i 2007 som forskerne. Formålet med missionen er ambitiøst: At forstå skabelsen og udviklingen af vores Univers.

Kilde: ESA BR-159, July 2000. www.sci.esa.int

Fortsat fra bagsiden

tion er bygget på flådeværftet i Skt. Petersborg, er bygningen præget af et maritimt udseende. Indvendig ligner det en blanding mellem MIR (runde gange med kabler på indersiden) og en ubåd, med store klodsede metalluger, små runde vinduer og uhensigtsmæssigt placerede stiger og trapper, med masser af skarpe kanter (sikkerhedshjelm var påbudt - alle kanter hvor der blev fundet rester af blod er malet røde!!). Som kronen på værket er alt i mørkmalet metal.

Radioastronomi

Sommerskolen gav en bred introduktion til radioastronomi, både i form af en gennemgang af de vigtigste astronomiske kilder til emission i radio området, samt en præsentation af de redskaber, i form af teleskoper, detektorer og software, som benyttes ved radioastronomiske observationer og databehandling. I radioastronomien betragter man stråling med bølglængder i intervallet fra mm til km. Dette giver mulighed for bl.a. at studere følgende kilder: Ved at observere radioemission fra overgange mellem rotations kvantetilstande i molekyler, kan man kortlægge fordelingen af molekylskyer i det interstellare medium og tilsvarende kan man bestemme fordelingen af neutral brint ved at betragte styrken af 21-cm linjen, som opstår ved spin-flip overgangen mellem finstruktur niveauer i grundtilstanden for H. Man kan observere pulsarer, som er roterende neutronstjerner, der udsender radiopulser, pga. rotationen af den magnetiske akse. Man kan observere radiogalakser, aktive galaksecentre og visse kvasarer, som er såkaldte "radio loud". Sidst men ikke mindst kan man observere Solen, som er den stærkeste radiokilde på himlen.

Undervisningen på sommerskolen bestod dels af en række forelæsninger, hvor eksperter indenfor forskellige dele af radioastronomien fortalte om netop deres område og dels af timer med regneøvelser, hvor vi diskuterede og regnede på forskellige konkrete problemer, som f.eks. længden af den nødvendige observationstid for et givet objekt, hvilket gav en større forståelse af hvordan radioastronomi udøves i praksis. I den sidste uge af sommerskolen fik vi yderligere mulighed for bruge det omtalte VIRAC radioteleskop hvor vi selv lavede radioobservationer af Solen. Alt i alt gav sommerskolen mulighed for at stifte bekendtskab med en bred vifte af emner indenfor radioastronomi og den var derfor især god for danske astronomistuderende, for hvilke radioastronomien oftest er et forholdsvis ukendt område.

Det sociale liv

Ud over at give de studerende faglig viden med hjem, havde sommerskolen også et andet vigtigt formål. Nemlig at skabe et internationalt netværk, som vi kan trække på senere i vores karriere. For at få det sociale sammenhold til at virke på turen, var det vigtigt,

at have nogle gode rammer omkring den. Til dette formål er Ventspils et godt sted at lægge en sommerskole. Ventspils er en ikke særligt stor by, med et begrænset natteliv. Der var derfor ikke så mange andre aktiviteter at tage sig til, end at hygge sig sammen. Det var der til gengæld rigtig gode muligheder for, idet Ventspils College, som vi boede på, rådede over en lille hyggelig park, og der kun var ti minutters gang til en god strand, hvor man kunne køle krop og sjæl efter de intense forelæsninger. Indendørs var der sørget for at vi havde adgang til et undervisningslokale med køleskab, kaffemaskine og mulighed for at høre musik. Alt i alt lykkedes det ganske godt at ryste os sammen. De fleste dage sad mange af os oppe til sent på aftenen og diskuterede og hyggede. Ikke nok med at vi fik gode venner i andre lande, vi fik også en stor viden om og forståelse for disse andre lande. Især de Baltiske lande var på forhånd ret ukendte for os danskere.

Sommerskolen kom således også til at indeholde et vigtigt politisk aspekt, da den gav mulighed for at få et samlet indblik i de astronomiske aktiviteter der finder sted i de mange små lande der er samlet omkring det Baltiske Hav og i Skandinavien. Det føltes som en naturlig afgrænsning kun at inkludere deltagere fra dette område, da disse lande alle har til fælles at de har en begrænset økonomi, og at deltagelse i internationale samarbejder er yderst vigtig for den forskning i det enkelte land, som det også ses i dansk forskning. VIRAC er da også et eksempel på et sådant samarbejde, og forhåbentlig vil det også fremover være muligt at etablere tætte samarbejder mellem disse små lande. Netop afholdelsen af disse NorFa sommerskoler er et vigtigt led i den udvikling.

Referencer:

- [1] VIRAC teleskopet: www.astr.lu.lv/virac/virac.htm
- [2] Hjemmesiden for Radio Universe 2001 sommerskolen: nastol.astro.lu.se/radio2001/
- [3] Næste års NorFa sommerskole i Moletai: Litauen, om "Astrophysics of Interacting Stars", www.astro.lt/mao/norfa/pradzia.htm



Artiklens forfattere før afrejsen. Fra venstre: Solveig Witting, René Michelsen, Rasmus Voss og Karina Kjær.

Nordisk-Baltisk sommerskole i Radioastronomi 2001

Karina Kjær, Solveig Witting, Rasmus Voss, René Michelsen, Astronomisk Observatorium, NBIfAFG.

Den 15. til 29. juli deltog vi i sommerskolen "Radio Universe - 2001 Nordic-Baltic Summer School in Radio Astronomy", som fandt sted i Ventspils, en by på vestkysten af Letland. Sommerskolen var finansieret af NorFa (Nordisk Forskerakademi), og var åben for studerende fra fysik og astronomi på speciale eller PhD niveau. Deltagerne kom fra lande i området omkring det Baltiske Hav, samt Skandinavien. Således var der deltagere fra Island, Sverige, Norge, Finland, Danmark, Estland, Letland, Litauen, samt fra Skt. Petersborg i Rusland. Den faglige baggrund for deltagerne spændte stort set over alle niveauer, så det var en yderst blandedt forsamling der var mødt op for at lære noget om radioastronomi.

VIRAC

VIRAC står for "Ventspils International Radio Astronomy Center", og ligger i Irbene, ca. 100 km nord for Ventspils. Centret består i dag af et samarbejde mellem Letland, Sverige og Rusland. Området hvor teleskopet ligger er i dag nærmest et øde naturreservat, grundet områdets nære fortid: Da Letland var under Sovjet, blev der i Irbene opført en militærbase stik modsat en svensk flådebase på Gotland, ca. 160 km væk. På basen blev der blandt andet bygget flere teleskoper til aflytning af kommunikationsforbindelser. Et af disse teleskoper, RT-32, blev designet til at lytte efter lavtgående satellitter, og er således udstyret med kraftige motorer, der kan følge satellitternes hurtige bevægelser over himlen. Da Sovjetunionen trak sig ud af Letland forlod de således også militærbasen, og efterlod en spøgelsesby, hvor der tidligere havde boet 2000 mennesker. For ikke at overlade et godt spionteleskop til Letland, som kunne anvendes til at spionere mod bygherrerne selv, saboterede det sovjetiske militær teleskopet inden de forlod basen. I særdeleshed gik det ud over det tekniske der styrer selve teleskopet. I hovedkablet (10cm i diameter) blev der slået søm i så det kortsluttede, og alle ledninger blev revet fra hinanden og kontrolbordene og teleskopets kraftige elmotorer blev overhældt med batterisyre. Heldigvis blev selve parabolen ikke skadet. Det har dog taget de lettiske ingeniører 4 år at genskabe hvad blev ødelagt.



VIRAC teleskopet.

Specielt tog det meget tid at forbinde alle ledninger igen uden tekniske tegninger over teleskopet. Nu er teleskopet igen funktionsdygtigt og er ved at blive en del af VLBI-netværket (Very Long Baseline Interferometer). Der mangler stadigvæk elementær infrastruktur, såsom mulighed for indlogering for besøgende observatører, og teleskopet mangler varme og toiletter for at kunne bruges optimalt. Ud over at observere Solen fik vi mulighed for at gå ud på disken og se det indvendige af teleskopet. Da selve den bærende konstruk-

Fortsættes side 31.