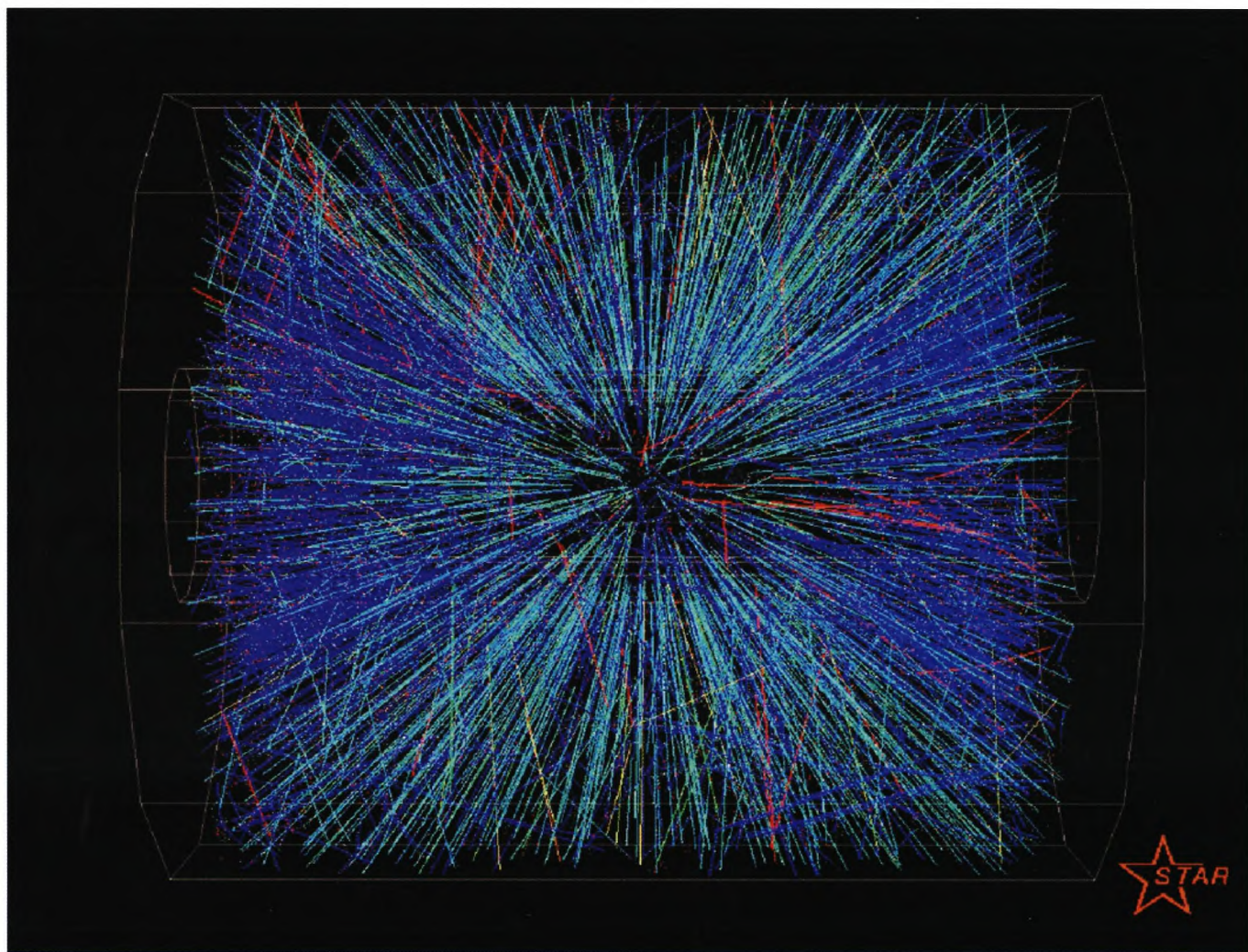


KVANT Oktober 3 2000

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 11. årgang



- FEER OG ELVER DANSER MED THOR • ATMOSFÆRENS STRUKTUR •
- NEWTONSK GRAVITATION • SEISMISKE UNDERSØGELSER AF SOLPLETTER •
- EN TRUSSEL MOD ASTRONOMIEN • VELKOMMEN TIL DANSK GEOFYSISK FORENING •
- KOPERNIKURSUS 2000 • NYHEDER FRA KVANT, AS, DFS, DGF OG SNU • LÆSEROPGAVE •

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

c/o 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.

Oplag: 2.750
Tryk: P. J. Schmidt A/S, Vojens
ISSN 0905-8893



Produktionsplan
Nr. 4-00 udkommer ca. 1. december
Nr. 1-01 udkommer ca. 15. marts
Nr. 2-01 udkommer ca. 15. maj
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

Indhold:

Feer og elver danser med Thor på nattehimmelen <i>Thomas Højgaard Allin</i>	3
Om atmosfærens struktur i syd-nord retningen <i>Aksel Wiin Nielsen</i>	9
Newtonske gravitation: Fra orden til kaos <i>René Michelsen</i>	17
Nyt fra Selskabet for Naturlærens Udbredelse	21
Nyt fra Astronomisk Selskab	22
Nyt fra Dansk Fysisk Selskab	23
Nyt fra Dansk Geofysisk Forening	24
Kvant-nyheder <i>Michael Cramer Andersen</i>	25
Breddeopgave nr. 2 og 3 <i>Jens Højgaard Jensen</i>	26
Fysiksommer skolen Kopernikus 2000 <i>Michael Cramer Andersen</i>	27
Velkommen til Dansk Geofysisk Forening <i>Jens Olaf Pepke Pedersen</i>	28
Løsning og kommentar til Breddeopgave nr. 3 <i>Jens Højgaard Jensen</i>	30
Seismiske undersøgelser af solpletter <i>Jesper Munk Jensen</i>	31
Kupon til bestilling af Kvant	34
Kondensstriber – en trussel mod astronomien <i>Holger Pedersen</i>	Bagsiden

Redaktionen af KVANT modtager meget gerne læserbreve, spørgsmål, forslag til artikler osv. fra læserne. En vejledning til nye forfattere findes på www.nbi.dk/dfs/KVANT.html. For tiden modtager redaktionen glædeligvis et stort antal bidrag. Desværre kan der med bladets begrænsede sideantal og udgivelsesfrekvens ofte være lang ventetid på at få et bidrag trykt, ligesom vi ikke får plads til alle bidrag. Vi prøver at holde forfatterne underrettede om deres indlæg, men hvis man ønsker at kende status for et bidrag, må man gerne kontakte redaktionen på e-mail: kvant@nbi.dk.

Forsiden:

KVARK-GLUON PLASMA.

Billedet på forsiden viser en kollision mellem to modsatrettede guldstråler, hvor guldatomkerne før kollisionen næsten har samme hastighed som lyset. Billedet er taget med en detektor ved Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) på Brookhaven National Laboratory i USA. Kollisionen foregår i midten af detektoren og herfra udgår en byge af producerede partikler. Partikelstrålerne ses som rette linier, og i denne begivenhed blev der målt omkring 1000 baner. Forsøgene, der har betydelig dansk deltagelse, skal undersøge, om man kan realisere en ny form af stof, et såkaldt kvark-gluon plasma, hvor de enkelte nukleoner opløses til deres mindste bestanddele: kvarker og gluoner.

Læs mere i KVANT-nyheder side 25.

Feer og elver danser med Thor på nattehimmelen

Thomas Højgaard Allin, *Geofysisk Afdeling, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik, og Sol-Jord Fysik Sektionen, Danmarks Meteorologiske Institut.*

Den videnskabelige interesse for elektriske udladninger i atmosfæren har indtil for ca. 10 år siden været koncentreret om lyn og følgerne af disse. Det, vi ser som et lyn, er en kortvarig, men meget stærk elektrisk strøm (typisk 10–100 kA), som forbinder forskellige områder i tordenskyer eller tordenskyen med jorden. De elektrisk ladede områder af tordenskyen, hvorfra lynet udspringer, har deres oprindelse i ladningsadskillelende mekanismer i den del af skyen, hvor kraftige op- og nedadrettede luftstrømme hersker; skyens såkaldt konvektive kerne. Før, under og efter lynudladningen er en konsekvens heraf altså ændringen af det elektriske feltbillede i omegnen af tordenvejret. En betydelig del af forskningen omkring lyn har handlet om at begrænse skader på bygninger og elektriske installationer, som har vist sig særligt udsatte for lynnedslag, samt at mindske risikoen for tab af menneskeliv som følge af lynnedslag. I forsikringsøjemed er nøjagtig lokalisering af lynnedslag vigtig, hvorfor man i mange lande opererer netværk af elektriske feltmålere, som kan registrere tidspunktet for ankomsten af den elektromagnetiske puls fra lynudladninger.

Det måske vigtigste begreb for forståelsen af lyn er *streamere*, som menes at danne elektrisk ledende kanaler mellem områder med forskelligt potential umiddelbart før selve lynudladningen. Ved en streamer forstås udbredelsen af en ledende kanal af *plasma*, dvs. delvis ioniseret gas, som er karakteriseret ved at have meget større longitudinale end laterale dimensioner. På grund af deres ledningsevne forstyrres det elektriske felt af udbredelsen af streamere, og feltet er meget stærkt ved spidsen af streamerne, hvilket kan siges at være drivkraften til deres udbredelse. Fortolkningen af lyn som en konsekvens af lange streamere i områder mellem tordenskyer og jorden er i god overensstemmelse med eksperimenter, selvom der endnu hersker nogen tvivl om de mekanismer, der sætter de enkelte streamere i gang. Se [1] og [2] for en detaljeret diskussion af elektriske udladninger i gasser.

Lyn er måske ikke den eneste elektriske udladning over relativt store afstande i atmosfæren, hvis vi ved udladning forstår udligningen af potentialforskelle ved hjælp af en transient (varighed mindre end 1 ms) strøm, som giver anledning til elektromagnetiske bølger i et bredt frekvensområde. For relativt nylig er der udført eksperimenter omkring den elektromagnetiske signatur af lyn, som viser at der forekommer sådanne transiente strømme i den øvre atmosfære (i højder over 20 km) [3]. At der over tordenvejr er observeret kraftig ionisering (10^4 – 10^5 gange baggrunds niveauet) har fået nogle til at



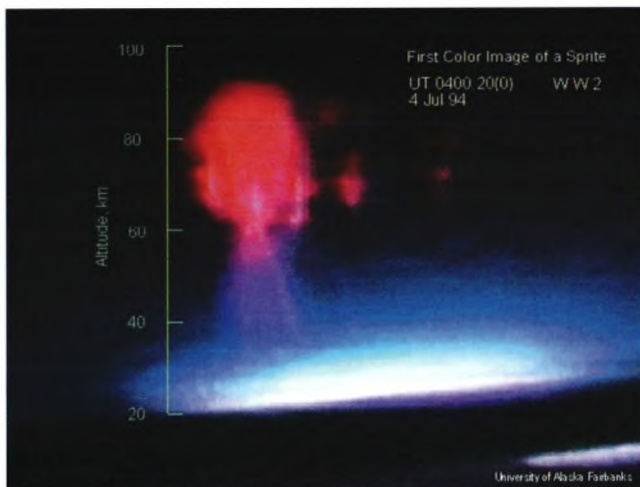
Figur 1. Lynudladning til træ. Læg mærke til den svagt lysende kanal der udgår fra masten nederst til venstre. Kilde: National Geographic.

foreslå, at udladninger også finder sted i disse højder.

Lysfænomener i den øvre atmosfære

Bortset fra kuglelyn blev andre typer af atmosfæriske udladninger ikke tildelt megen opmærksomhed før sidst i det 20. århundrede. Selvom deres eksistens var forudsagt af den britiske fysiker C. T. R. Wilson i 1925, og givetvis observeret endnu tidligere, var det ikke før end 1989 at forekomsten af kortvarige, svage lysglimt – i dag kaldet *Red Sprites* (på dansk: Røde Feer; herefter blot *sprites*) – blev dokumenteret af Franz et al. [4]. Deres opdagelse satte gang i et væld af aktiviteter, da man ikke kunne finde nogen antropogenisk forklaring på deres observationer. I årene der fulgte, var sprites fokus for flere jord- og luftbårne kampagner, og sågar NASAs rumfærger blev taget i brug for at kortlægge forekomsten af sprites systematisk. Det blev dog kun til sporadiske observationer af sprites fra rummet, primært over de tropiske egne, hvor tordenaktiviteten er størst. I 1994 blev det første farvebillede af sprites taget (se

figur 2), og i de efterfølgende år skærpedes interessen om måling af energiforhold i de lysende områder ved hjælp af spektra opnået via fotometri.



Figur 2. Første farvebillede af sprites, taget fra et højtgående fly i 1994. Gengivet med tilladelse fra Geophysical Institute, University of Alaska, Fairbanks.

Sprites er kun under favorable forhold synlige for det menneskelige øje, da hovedparten af emissionerne fra sprites ligger i det nær-infrarøde område (fra 650–800 nm), hvor øjets følsomhedskurve klinger af (se figur 3 for et af de første observerede spektra). De første deciderede kampagner fastslog, at sprites forekommer i nær tidslig sammenhæng med såkaldte positive sky-til-jord lyn (+CG), og altså ikke med lyn af den omvendte polaritet¹; en observation, som kun er blevet bekræftet sidenhen. I 1992 rapporteredes forekomsten af *Elves*, som er meget kortvarige og svage lysglimt i ca. 90 km's højde, og som af og til ses i nær sammenhæng med sprites. Også disse er tæt knyttet til lynaktiviteten i tordenskyer, men forekommer tilsyneladende med CG-udladninger af begge polariteter.

Under samme (luftbårne) kampagne som resulterede i farvebilledet herover, opdagedes yderligere de såkaldte *Blue jets*, som er blågrønne kegler af lys, der udgår fra toppen af tordenvejr og op til ca. 40 km's højde med en hastighed på ca. 100 km/s. Blue jets er vanskelige at observere fra jorden på grund af Rayleigh-spredning gennem den lange atmosfæriske vej til et kamera ved jorden, så videooptagelserne præsenteret i [5] udgør de hidtil eneste systematiske observationer af Blue Jets. Hvor man ikke i alle tilfælde observerer lys fra sprites helt ned til skyhøjde, er der for Blue Jets ingen tvivl om at de hidrører fra en elektrisk aktiv del af tordenvejret, nemlig oftest fra toppen af den konvektive kerne. Tabel 1 sammenfatter de fysiske karakteristika for sprites, blue jets og elves.

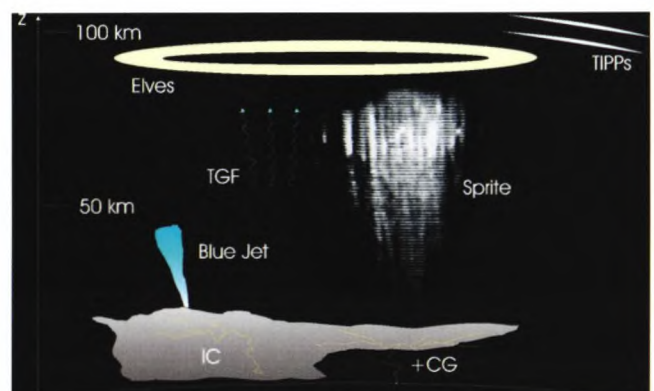
De ovennævnte udgør kun den mere eller mindre synlige del af den muligvis endnu ufuldstændige kendte

gruppe af tordenvejrrelaterede fænomener. Kun kort tid efter dokumentationen af sprites observeredes intense udbrud af røntgenstråling fra atmosfæren af instrumenter ombord på NASAs nyligt afbrændte Compton Gamma Ray Observatory, og disse blev hurtigt forbundet med områder med tordenaktivitet. Varigheden af røntgen-pulserne blev estimeret til nogle få ms, og spektret af disse *Terrestrial Gamma-Ray Flashes* (TGF'er) blev analyseret og fundet konsistent med bremsestråling fra 1 MeV-elektroner. For at nå op til satellithøjde måtte kilden ligge over 30 km, hvorfor man hurtigt forbandt TGF'er med sprites; der er dog endnu ikke lavet samtidige observationer med røntgen- og optiske kameraer til at bekræfte deres sammenhæng.

	Sprites	Blue jets	Elves
Højde, km	40–90	20–40	80–100
Lateral udstrækning, km	25–50	3	100–300
Lysstyrke, kR	50–100	10–500	> 1000
Varighed, ms	5–500	250	< 1
Lyn	+CG	IC	±CG

Tabel 1. Resume af fysiske karakteristika af sprites, blue jets og elves. IC betegner sky-til-sky udladninger (intra-cloud). 1 kR er ækvivalent til en flux på 10^6 fotoner per sekund per m^2 overfladeareal. Sprites er i den henseende at sammenligne med middelstærkt nordlys.

I 1995 rapporteredes ydermere de såkaldte Trans-Ionospheric Pulse Pairs (TIPPs), som er to på hinanden følgende, næsten identiske radio-pulser, kun adskilt ca. 10–100 μs , og kraftige nok til at gennemtrænge den elektrisk ledende ionosfære. Ensartetheden af pulserne antyder, at den sidste er en refleksion af den første, som givetvis er opstået ved kraftige IC lynudladninger. Figur 3 sammenfatter de indtil nu kendte fænomener, der knytter sig tidsligt og rumligt til tordenvejr.



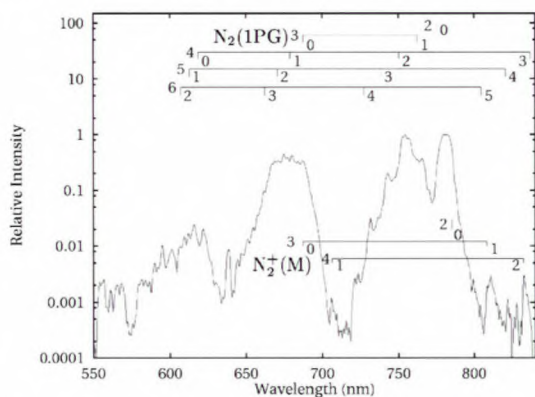
Figur 3. Sammenfatning af de nyligt opdagede fænomener knyttet til tordenvejr nævnt herover.

¹+CG betegner, at lynstrømmen overfører positiv ladning fra skyen til jorden (Cloud to Ground). Den modsatte variant betegnes -CG. Sædvanligvis udgør sky-til-jord udladninger ca. 25% af den samlede lynaktivitet, og heraf er kun ca. 10% af +CG varianten.

Mere om sprites

De første studier af sprites havde som formål at kortlægge deres hyppighed, størrelse, lysstyrke og spektra. Et af de første karaktertræk, man fandt, var at sprites i over 95% af tilfældene forekommer i tidlig sammenhæng med +CG lynudladninger, som gerne udviser såkaldte *ELF slow tails*. Disse "langsomme haler" på +CG'ens elektromagnetiske signatur er udtryk for relativt langvarige strømme (flere ms) i lynkanalen, og dette er igen udtryk for at ladningstransporten fra sky til jord er større end for normale lyn. Hvor et almindeligt -CG lyn overfører 10–20 C i løbet af højest 1 ms, er der observeret +CG-udladninger som har overført over 500 C i løbet af 2–3 ms. Dette peger på, at der skal meget kraftige lynudladninger til for at drive de processer, der frembringer de optiske emissioner, man ser som sprites [6]. +CG'er udspringer primært fra de meteorologisk set mindre aktive dele af tordenskyen, hvor de lodrette luftstrømme er ophørt, og nedbøren er relativt stille.

Langt den største del af observationer af sprites er gjort i USA, hvor tordenskyer let opnår vandrette dimensioner på flere hundrede km. Ofte ses sprites at vandre hen over horisonten, og aktiviteten kan flytte sig op mod 100 km på 1/100 s.



Figur 4. Et af de først opnåede sprite spektra. Indikeret er de tilstande, der ved henfald udsender lys ved en bestemt bølgelængde. $N_2^+(M)$ betegner Meinel-båndet; tallene angiver for hver tilstand de elektroniske og vibrationelle kvantetal for tilstandene.

Et typisk sprite spektrum er gengivet i figur 4. Hovedparten af emissionerne udgøres af overgange i N_2 i det nær-infrarøde område, som kan induceres af elektroner med energi på kun 8.3 eV, mens intensiteten af overgange i N_2^+ er omtrent en størrelsesorden lavere. Troværdige spektra af sprites er svært opnåelige, specielt for kortere bølgelængder, hvor Rayleigh-spredning på grund af observationsgeometrien gør sig kraftigt gældende. Derfor har der været nogen diskussion om hvorvidt den tilsyneladende mangel på observationer af N_2^+ -overgange kan tages som tegn på, at sprites er et relativt lavenergetisk fænomen. Levetiden af den første exciterede N_2^+ tilstand, som ville forventes at give sig til kende i sprites, er ca. 14 μ s, hvilket gør at den undertrykkes kollisionelt i højder på mindre end

ca. 90 km. Den korrekte fortolkning af de målte spektra er naturligvis vigtig i forbindelse med tilpasning af teoretiske modeller for sprites. Nyere eksperimenter har yderligere påvist spektrale forskelle mellem sprites med forskelligt udseende, hvilket tyder på at processerne, der forårsager emissionerne, ikke nødvendigvis er ens fra gang til gang.

En sammenligning af sprites med andre udladninger kom for alvor på tale, da man foretog de første samtidige målinger af lavfrekvent (VLF) elektromagnetisk (EM) stråling med bredbånds-modtagere og lysstyrken af sprites med fotometre. Det viste sig, at den primære puls i de elektriske og magnetiske felter på grund af lynudladninger følges op af en yderligere puls, når lynet akkompagneres af en sprite. Dette signal falder tidsligt nøjagtigt sammen med lysstyrken i den observerede sprite, hvorfra man har konkluderet, at en strøm på 1–5 kA løber i de lysende dele af visse sprites [7].

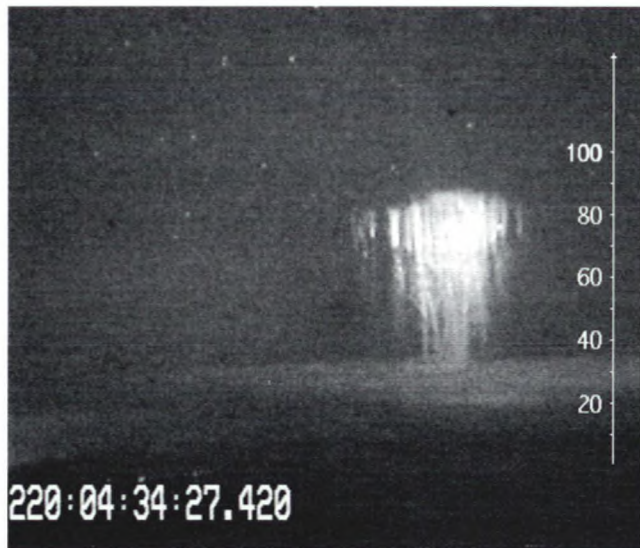
Kampagnen "Sprite 99"

I juli og august sidste år deltog jeg på vegne af DMI i kampagnen Sprite 99, som havde til formål at lave stereoskopiske observationer af sprites i høj opløsning. Gennem den 1 måned lange periode optoges sprites fra Kitt Peak i det sydlige Arizona og Langmuir-laboratoriet i New Mexico, med specielt forstærkede CCD kameraer med både brede (ca. 20×15 grader) og smalle synsfelter (4×3 grader). Speciel var aftenen efter d. 7 august 1999, hvor der i tidsrummet mellem kl. 3 og kl. 5 UTC (20–22 lokal tid) blev observeret 36 sprites over et stort tordenvejrskompleks over det nordlige Mexico. Heraf blev flere opfanget i de kameraer, der var udstyret med telelinse (300 mm focal længde), og rumlige strukturer ned til 80 m i udstrækning kunne opløses og senere positioneres via triangulation (se figur 5). Yderligere optoges kontinuerligt ELF perturbationer på audio-kanalen af de videobånd, som optoges ved Langmuir-laboratoriet.

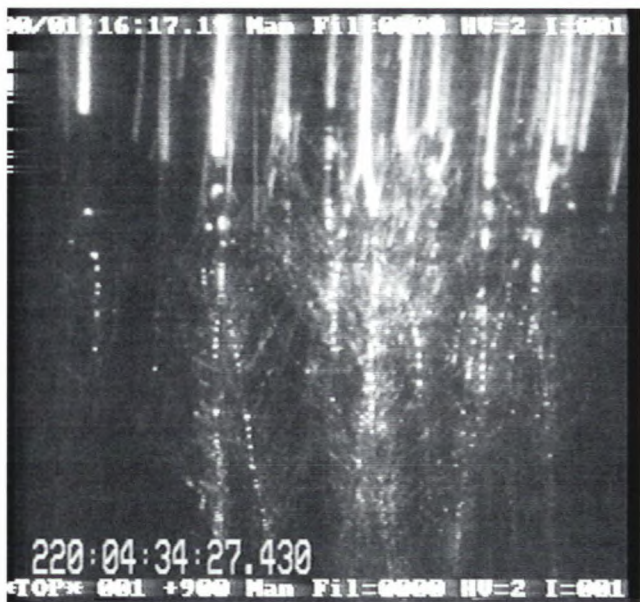
Med almindelig triangulation kan positionen og størrelsen af forskellige strukturer genkendt i både billeder fra Kitt Peak og Langmuir Laboratoriet bestemmes. Interessant i sammenhæng med udladninger er imidlertid også den indbyrdes geometriske orientering af forskellige strukturer. Den (Γ -formede nedadrettede struktur til venstre i figur 5b ser ud til at danne basis for udspringet af andre og tyndere filament. Hvis disse er forgreninger af en elektrisk ledende kanal, vil deres orientering muligvis kunne give indblik i geometrien af det lokale elektriske felt. Et delvist indblik heri haves måske allerede, idet man med kendskabet til amplituden af den sprite-associerede ELF puls har et kvalificeret bud på den totale strøm i den observerede sprite. Hvis det også antages, at kun de lysende dele af en sprite bærer strømmen, kan man ved at bestemme det volumen, som lyser op, give et bud på strømtætheden i de lysende områder.

Man skal imidlertid huske på, at integrationstiden

af et videobillede som i figur 5 er ca. 33 ms, hvilket ikke tillader god tidslig opløsning af udviklingen af de enkelte delstrukturer i sprites. Til det formål er det nødvendigt med kameraer, der er i stand til at tage flere end 1000 billeder per sekund.



Figur 5a. Sprite set fra Kitt Peak, aften efter d. 7/8 1999. Højdeskalaen (i km) til højre er konstrueret ved hjælp af positionen af det næsten samtidige +CG lyn, registreret af NLDN. Tidstemplet nederst er UT, afledt fra et video-processeret GPS signal.



Figur 5b. Samme sprite som i (a), set med telelinse med synsfelt på ca. 4×3 grader. Læg især mærke til den diskrete struktur af emissionerne, som ikke er specielt tydelig i (a), og især de perleagtige emissioner i de nedre dele.

Modeller for frembringelse af sprites

Den nære forbindelse til +CG udladninger giver det første fingerpeg om, at processerne, der frembringer

²Kvasi-elektrostatisk vil sige, at retardationen af felterne ignoreres (uendelig lyshastighed). For afstande op til 100 km og på tidsskalaer over 1 ms er dette en rimelig god approksimation.

emissionerne i sprites er drevet af elektromagnetiske felter fra tordenskyen. I et typisk tordenvejr forekommer lyn med en rate på 1–10 udladninger per minut, hvorfor vi nødvendigvis har en tidsskala for opladning af tordenvejret på $\tau_s \approx 10$ s. Ledningsevnen af atmosfærisk luft er i en simpel model eksponentielt voksende med højden, altså

$$\sigma(z) = \sigma_0 \exp(z/H) \quad (1)$$

med $H=7$ km. Dermed bliver den tid, hvorpå Ohm'ske strømme i atmosfæren kan eliminere elektriske felter (relaxationstiden), givet ved

$$\tau_r(z) = \tau_{r0} \exp(-z/H) \quad (2)$$

hvor $\tau_r(z=0) = \epsilon_0/\sigma_0 \approx 900$ s. I ca. 30 km's højde er relaxationstiden aftaget til 10 s, og i højder herover kan polarisationsstrømme på tidsskalaen for opladning af tordenvejret skabe en afskærmende polarisationsladning af den primært dipol-agtige ladningsfordeling i tordenskyen.

Afladningen af tordenskyen sker imidlertid på en helt anderledes, kort tidsskala. For +CG-tilfældet sker afladningen gennem lynkanalen på højst 1–5 ms, hvorved ladningsmængder på op til 2–300 C elimineres. Antages ledningsevnen at være upåvirket af polarisationsladningen, er det først i højder omkring 90 km at de transiente felter på grund af lynudladningen forsvinder på samme tidsskala som lynstrømmen. Der er altså fra skyhøjde og op til bunden af ionosfæren mulighed for at opretholde elektrostatiske felter på tidsskalaer sammenlignelige med varigheden af de optiske emissioner i sprites.

Som udførligt beskrevet i [1] er +CG-udladningen imidlertid en todelt proces. Når den ledende kanal har forbundet det store reservoir af positiv ladning i skyen med jorden, opstår først en meget kortvarig (< 0.1 ms) retur-strøm i kanalen, som detekteres af lynpejlings-systemer. Derefter kan der fortsat løbe strømme i kanalen, så et område af skyen aflades på typisk 1–5 ms, og en kvasi-elektrostatisk² model er efter returstrømmen rimelig nøjagtig i beskrivelsen af de elektriske felter over tordenskyen. Det kvasi-elektrostatiske felt over tordenskyen kan relativt let modelleres, hvis man antager en simpel model af ladningsfordelingen i tordenskyen. Til sammenligning er det imidlertid nyttigt at betragte en af de processer, som er foreslået for frembringelsen af optiske emissioner i sprites.

Runaway air breakdown (RB) [8] er den engelske betegnelse for en kaskadeprocess, hvorved relativt få højenergetiske elektroner i tilstedeværelsen af et passende elektrisk felt kan igangsætte en type elektrisk nedbrud af en gas. Princippet for RB er det samme som for ordinært elektrisk gennemslag – mellem kollisioner øges elektronernes kinetiske energi mere, end de taber ved disse, ligesom andre elektroner frigøres og accelereres i det elektriske felt. Forskellen til RB er dog, at

de første elektroner i RB-kaskaden allerede har energier på flere MeV – eksempelvis som resultatet af den kosmiske strålings vekselvirkning med atmosfæren. For at RB kan forekomme, må det elektriske felt være i stand til at opretholde og multiplicere antallet af MeV-elektroner, hvilket kan siges at definere en kritisk elektrisk feltstørrelse for RB. Midlet over mange kollisioner oplever en MeV-elektron en dynamisk friktion (energitab per længde), som kan skrives analytisk som

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4}{mv^2} N Z_2 f(\gamma) \quad (3)$$

med

$$f(\gamma) = \ln \frac{E}{I} \sqrt{\frac{\gamma+1}{2}} + \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{\gamma^2} - \frac{2\gamma-1}{\gamma^2} \ln 2 + \frac{1}{8} \left(\frac{\gamma-1}{\gamma} \right)^2 \right\} \quad (4)$$

Heri repræsenterer γ Lorentz-faktoren, I det typiske ioniseringspotential for atmosfæren, N den atmosfæriske tæthed, Z middelladningstallet (~ 14.5), m elektronens hvilemasse og $E = \gamma mc^2$ dens energi. Den dynamiske friktion udviser et markant minimum ved elektronenergier på ca. 1 MeV ($\gamma = \gamma_{min} = 3.8$), og en tilsvarende kritiske elektrisk feltstørrelse E_c for RB-kaskaden findes af

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dt} = -eE_c - \left(v \frac{dE}{dx} \right) \Big|_{\gamma=\gamma_{min}} &= 0 \\ \Rightarrow E_c \approx 281 \frac{kV}{m} \frac{P(z)}{P_0} \end{aligned} \quad (5)$$

hvor P_0 er trykket ved jordoverfladen. Til sammenligning sker ordinært atmosfærisk nedbrud først ved $E_0 = 3200$ kV/m.

RB kræver lange skalalængder sammenlignet med ordinært atmosfærisk nedbrud, idet kollisioner som resulterer i relativt store energitab for en MeV-elektron er meget sjældnere end dem, som resulterer i små energitab (få keV). Sidstnævnte er dog vigtige for frembringelsen af optiske emissioner, idet frembringelsen af eksempelvis N_2 's laveste exiterede tilstand kun kræver elektroner med kinetisk energi på ca. 8 eV. Den relativt fåtallige (men dog eksponentielt voksende) skare af MeV-elektroner vil således trække et synligt spor i atmosfæren, ligesom man fra oven vil kunne se et glimt af hård røntgenstråling (bremsestråling) fra denne. At elektriske felter fra en +CG udladning i en tordensky kan trigge RB-nedbrud er vist i figur 6.

Som en yderligere fjer i hatten til RB-teorier for sprites tæller, at de favoriserer +CG-udladninger, der producerer nedadrettede elektriske felter over tordenskyer – altså felter rettet langs gradienten af den atmosfæriske tæthed. Til gengæld synes finstrukturen i sprites ikke umiddelbart at være inkluderet i RB-teorier,

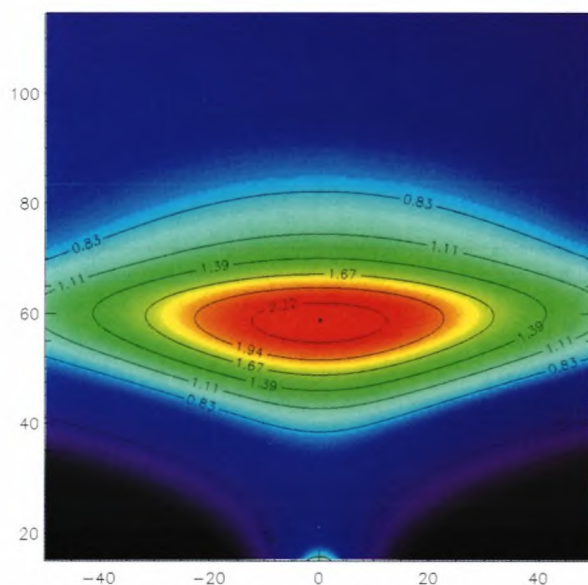
ligesom den tilsyneladende mangel på linjer fra N_2^+ i sprite-spektra skal forklares.

Kvasi-elektrostatisk opvarmning og ionisering [9] betegner en anden tænkt proces for sprites, hvori frie elektroner med lav energi (nogle få eV) accelereres i det elektriske felt fra +CG-udladningen og producerer optiske emissioner ved kollisioner med N_2 , samt en lav grad af ionisering. Igen er her tale om en proces der ikke umiddelbart indeholder den faktiske form af emissionerne i sprites, men som gengiver visse andre aspekter som f.eks. muligheden for at der kan løbe strømme i sprites og den primært røde farve af disse.

Finstruktur af sprites – overdimensionerede lyn?

Forekomsten af velafgrænsede og relativt smalle strukturer i sprites som set på figur 5b, set i sammenhæng med de strømme, man har bevis for løber i sprites er måske et synligt tegn på paralleller mellem lyn og sprites. Af og til forekommer sprites og elves (se ovenfor) i nær sammenhæng, hvilket tyder på at den første elektromagnetiske puls fra returstrømme i lyn også kan have betydning for udviklingen af sprites. Den elektromagnetiske puls, der dannes af lyn, er sammensat af bidrag fra de enkelte dele af lynkanalen, udsendt til forskellige tidspunkter under returstrømmen. Mens lynet i figur 1 ikke er specielt kringlet, menes de lyn, som igangsætter sprites at være af en anderledes, kompliceret struktur med mange vandrette forgreninger i skyen. Strålingsfeltet der udbreder sig fra sådanne lyn kan have noder og anti-noder over skyen; altså punkter hvor delbidragene interfererer konstruktivt eller destruktivt. Afstanden over skyen gør det imidlertid tvivlsomt om årsagen til finstrukturen findes her – der burde i så fald også være observeret finstruktur i Elves, hvilket ikke er tilfældet.

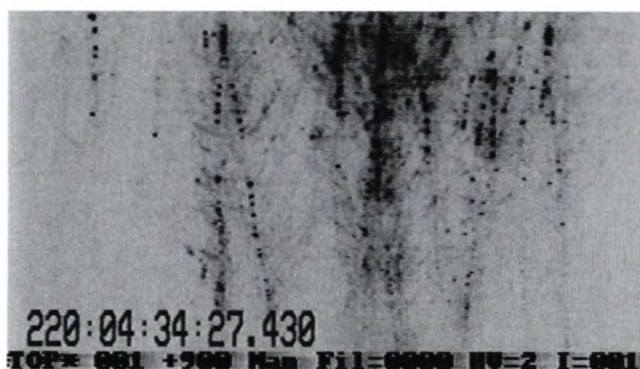
Måske findes forklaringen i en nyere teori for sprites, som knytter emissionerne til lange streamere – eksempelvis de øvre dele af figur 5b. Streamere i atmosfæren kan starte, hvor der findes små inhomogeniteter i elektrontætheden. For at igangsætte en streamer må det elektriske felt overstige det ordinære kritiske felt for gennembrud, hvilket for højder på ca. 80 km kan opnås af EMP'en fra +CG udladningen. Herefter kan streamerne udbrede sig nedefter, i retningen af det kvasistatiske elektriske felt. Overgangen til den endnu mere diskrete struktur nederst i figur 5b kan skyldes flere ting, men forgreningerne og forekomsten af de lysende perler på linje taler for en underliggende, ledende struktur. I figur 7 er det inverterede videobillede af den samme sprite vist. Man fornemmer herved bedre, at der udgår tynde filament fra den Λ -formede struktur, hvilket dog først kan bekræftes ved triangulation. Forekomsten af perle-linjerne direkte under de tykke kolonner taler også i sig selv for en elektrisk sammenhæng mellem disse.



Figur 6. Forholdet mellem det elektriske felt og det kritiske felt E_c for RB-nedbrud, under en modelleret +CG-udladning, hvor 100 C elimineres på 3 ms fra 8 km's højde.

Konklusion

Skønt først dokumenteret for ca. 11 år siden, er omfanget af litteratur om sprites, elves og blue jets allerede meget stort, ligesom kvaliteten af observationerne bliver fortsat bedre. Hvis sprites virkelig er udtryk for en udladningsproces i stil med lyn, har man med deres opdagelse fået nye muligheder for at studere sådanne processer over helt andre skalaer og tætheder, end tilfældet har været det hidtil. Skønt sprites rent faktisk kan ses med det blotte øje, og i få tilfælde er observeret med almindelige videokameraer, er vigtige fysiske parametre (såsom deres sande spektrum) fortsat dårligt kendte. Der er imidlertid nye tiltag på vej for at råde bod på dette, såsom den taiwanesiske satellit Rocsat-2, ligesom der årligt afholdes jordbaserede observationskampagner i USA.



Figur 7. Nederste portion af figur 5b, inverteret for at fremhæve de svagt lysende filamenter og forgreninger.

Sprites er nu observeret over USA, Japan, Aus-

tralien, Sydamerika og for ganske nylig over det sydlige Europa. Der er altså tale om et globalt forekommende fænomen, over tordenvejr som er i stand til at produce store +CG-udladninger. Endnu er effekterne af sprites i de lag, hvori de forekommer, ikke kendte, men påvirkning af atmosfærens kemi er en mulighed - og voluminet af sprites taget i betragtning, måske slet ikke uvæsentlig. Andre perspektiver er forekomsten af elektriske udladninger på andre planeter, der afhængig af planetatmosfærens tykkelse og sammensætning kan tænkes at antage andre former, end vi kender dem fra jorden.

Referencer:

- [1] Martin A. Uman (1984) "Lightning", Dover.
- [2] Yuri P. Raizer (1997) "Gas discharge physics", Springer.
- [3] R. A. Roussel-Dupré og E. Blanc (1997) "HF echoes from ionization potentially produced by high-altitude discharges", *Journal of Geophysical Research*, bind **102** A3, side 4613.
- [4] R. D. Franz, R. J. Nemzek og J. R. Winckler (1990) "Television images of a large upward electrical discharge above a thunderstorm system", *Science*, bind **249**.
- [5] E. M. Wescott, D. D. Sentman, D. L. Osborne, D. L. Hampton og M. J. Heavner (1995) "Preliminary results from the Sprites94 aircraft campaign: 2. Blue Jets", *Geophysical Research Letters*, bind **22**, side 1209.
- [6] E. Huang m.fl. (1999) "Criteria for sprites and elves based on Schumann resonance observations", *Journal of Geophysical Research*, bind **104** D14, side 16943.
- [7] S. A. Cummer, U. S. Inan, T. F. Bell og C. P. Barrington-Leigh (1998) "ELF radiation Produced by Electrical Currents in Sprites", *Geophysical Research Letters*, bind **25**, side 1281.
- [8] R. A. Roussel-Dupré, A. V. Gurevich, T. Tunnell og G. M. Milikh (1994) "Kinetic theory of runaway air breakdown", *Physical Review E*, bind **49**, side 2257.
- [9] V. P. Pasko, U. S. Inan, Y. N. Taranenko og T. F. Bell (1997) "Sprites produced by quasi-electrostatic heating and ionization in the lower ionosphere", *Journal of Geophysical Research*, bind **102**, side 4529.

Yderligere eksempler på billeder fra Sprite 99 kampagnen findes på www.gfy.ku.dk/~tha/sprite99.html.

Eksempler på sprites over Europæiske tordenvejr, set under DMI-kampagnen EuroSprite 2000, findes på www.gfy.ku.dk/~tha/eurosprite2000/listofsprites.html

Information om Rocsat-II findes på www.nspo.gov.tw/e30/origin.html



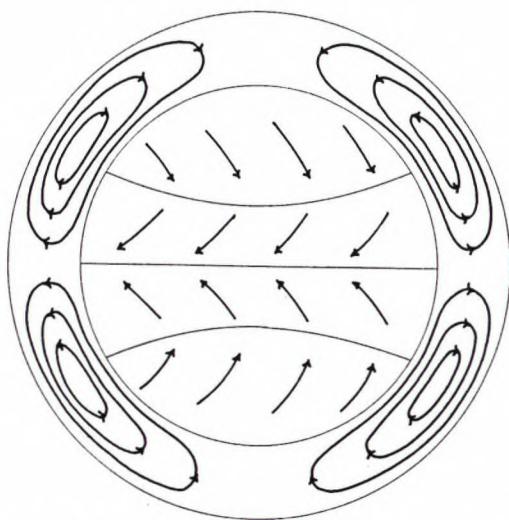
Thomas Højgaard Allin er specialestuderende ved Geofysisk Afdeling, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik, samt Danmarks Meteorologiske Institut.

Om atmosfærens struktur i syd–nord retningen

Aksel Wiin Nielsen, *Geofysisk Afdeling, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.*

I skolen lærer vi at inddele Jordens nordlige halvkugle i et område med østlige vinde nær ved ækvator, et andet, længere mod nord, med vestlige vinde og et område nær ved Nordpolen med østlige vinde. På den sydlige halvkugle er der tilsvarende vindbælter med symmetri omkring ækvator. Denne artikel beskriver en forholdsvis enkel teori for disse vindbælters position og styrke.

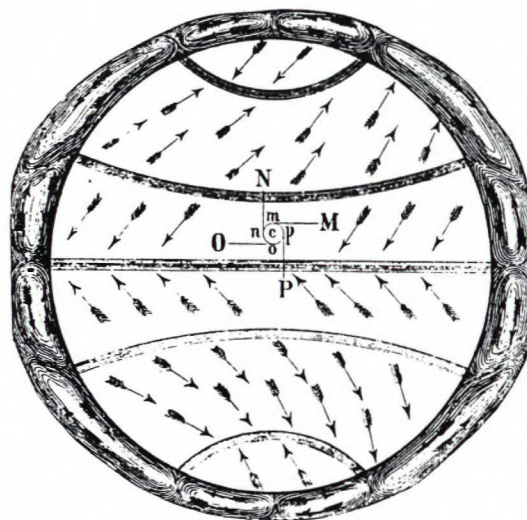
Emnet er gammelt. Det har optaget folk med interesse for atmosfæren i flere århundreder. De første spekulationer var præget af, at man ikke havde observationer, der kunne beskrive hverken den horisontale eller den vertikale variation af vinden, temperaturen og andre meteorologiske variable. En efterprøvning af en fremsat teori var derfor umulig. Den første publikation er skrevet af Hadley [1], som erkender opvarmningen på de lave og afkølingen på de høje bredder. Der vil derfor være opstigende luft på de lave bredder og synkende luft på de høje bredder, hvilket giver en direkte meridional cirkulation, en såkaldt Hadley celle. Under betragtning af indvirkningen af Corioliskraften kommer han til billedet i figur 1.



Figur 1. Hadley's meridionale cirkulation med kun én celle i hver hemisfære.

Ferrel [2] indskyder en indirekte celle, kaldet Ferrel cellen, mellem en polar og en tropisk Hadley celle, da han ellers ikke kan få sin spekulation til at passe, se figur 2. Mange andre forsøger sig med lignende modeller. Disse er sammenfattet af Lorenz [3], som gør opmærksom på, at billeder af denne type forekommer et stykke ind i 1900'tallet (Bjerknes [4] og Bergeron [5]). Han konkluderer, at ingen af disse modeller kan give en fyldestgørende eller rigtig forklaring på de nyere ob-

servationer, som fremkommer under og efter den anden verdenskrig.



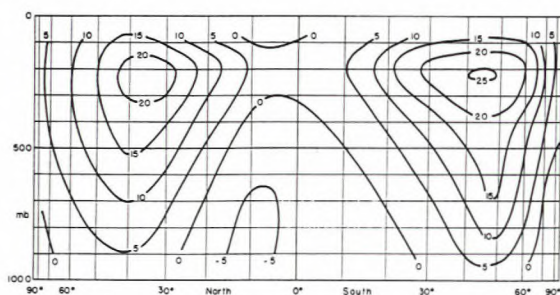
Figur 2. Ferrel's meridionale cirkulation med tre celler i hver hemisfære.

Et eksempel, der viser det zonale gennemsnit af den observerede vind for vintermånederne på den nordlige halvkugle er givet i figur 3a. Man ser et vindmaksimum på 200 hPa niveauet lidt nord for 30 breddegrader på den nordlige halvkugle, medens de kraftigste vinde findes på ca. samme niveau, men mellem 40 og 50 breddegrader på den sydlige halvkugle, hvor det er sommer. Østlige vinde findes på de lave bredder under 300 hPa, og der er svage østlige vinde på lave højder i nærheden af polerne. Figur 3b viser den zonale vind som funktion af bredden på den nordlige hemisfære for januar 1999, hvor U_0 er den estimerede vind ved atmosfærens ydre grænse. U_1 , U_2 , U_3 og U_4 er vindene på henholdsvis, 250, 500, 750 og 1000 hPa. På disse kurver lægger man mærke til et maksimum ved ca. 30 breddegrader for U_1 og U_2 , medens maksimumet for U_3 og U_4 er noget længere nordpå. På alle kurverne er der også et langt svagere maksimum på de højere bredder. De to maksima kaldes den subtropiske jet og den polare jet.

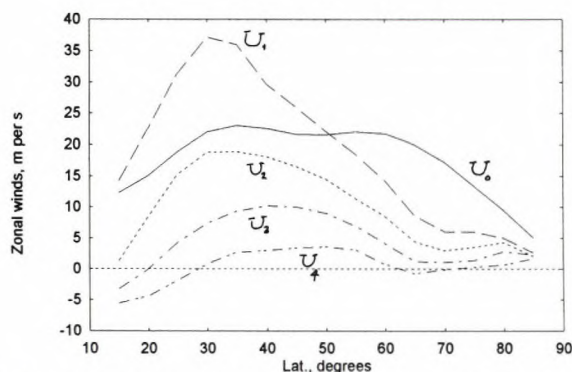
Man har også været i stand til at beregne den meridionale cirkulation fra observationer. Hadley og Ferrel cellerne findes i atmosfæren som vist af Vuorela og Tuominen [6], se figur 4, hvor de er angivet ved hjælp af strømlinier. Maksimale negative værdier viser opadgående bevægelse.

Efter udviklingen af de elektroniske regnemaskiner, som de hed dengang, blev det muligt at undersøge, om man kunne reproducere de mere væsentlige træk af den observerede atmosfære. Phillips [7] og Mintz

[8] beskriver tidlige eksperimenter af denne slags, men mange andre klimamodeller har reproduceret den nuværende klimatiske tilstand med udmærkede resultater inklusive den meridionale fordeling af de zonale gennemsnit af temperatur, vind og vertikal-hastigheder. Disse modeller er også i stand til at reproducere Hadley og Ferrel celler på de rigtige steder. Modellerne er derfor i stand til at reproducere atmosfærens gennemsnitlige tilstand i store træk, hvilket i hvert fald viser, at modellerne indeholder de væsentligste aspekter af atmosfærens dynamik og termodynamik. På den anden side er det ikke let på grundlag af disse integrationer at give en enkel beskrivelse af de mere væsentlige processer, som er ansvarlige for dette gode resultat.



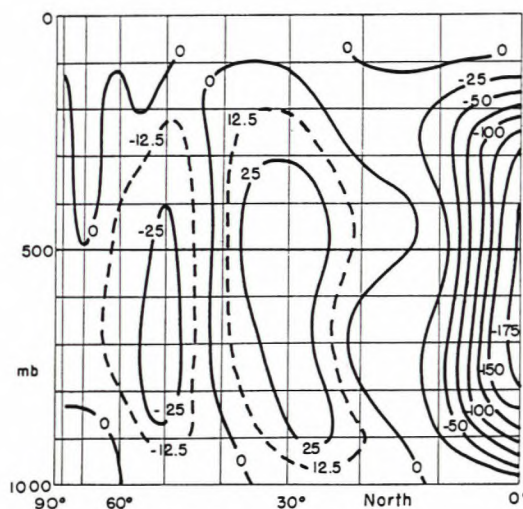
Figur 3a. De zonale vinde i begge hemisfærer, m per s.



Figur 3b. De zonale vinde i m per s som funktion af bredden for trykfladerne: U_0 : 0 hPa, U_1 : 250 hPa, U_2 : 500 hPa, U_3 : 750 hPa, U_4 : 1000 hPa.

Da observationer af både troposfæren og den lavere del af stratosfæren med en rimelig, men aldrig helt tilfredsstillende dækning af den nordlige hemisfære lidt efter lidt blev tilgængelige efter anden verdenskrig, blev det muligt at udføre mange forskellige diagnostiske studier af specielle processer. Man interesserede sig specielt for den meridionale varme- og momenttransport udført af de atmosfæriske bølger, dels for deres egen skyld, men også fordi disse transporter indgår i energiomsætningerne mellem den energi, som findes i de zonale felter og energien i bølgerne. Nogle eksempler af disse transporter og den tilsvarende energiomsætning kan findes i Wiin-Nielsen og Chen [9]. Det er klart fra disse beregninger, specielt energiomsæt-

ningerne, at den zonale disponible energi taber energi til den samme energiform for bølgerne, medens den zonale kinetiske energi modtager energi fra den samme energiform i bølgerne, medens den energiomsætning, som finder sted direkte fra den zonale disponible energi til den zonale kinetiske energi, er lille sammenlignet med omsætningerne mellem det zonale middel og bølgerne. Disse betragtninger er en anden måde at udtrykke, at selv om der er en energiomsætning i de zonale felter, som må beregnes fra de tilstedeværende Hadley og Ferrel celler, så spiller denne energi-omsætning en meget lille rolle i bevarelsen af de zonalt midlede temperaturer og vinde.



Figur 4. Den meridionale cirkulation vist med strømlinier.

Det viser sig med andre ord, at hvis man skal gøre rede for den meridionale struktur, må man tage hensyn til forskellige processer i de atmosfæriske bølger. Det er naturligvis, hvad de almindelige cirkulationsmodeller eller klimamodeller gør, idet de integrerer de tre bevægelsesligninger, den termodynamiske ligning, kontinuitetsligningen, gasligningen og en ligning for ændringer i atmosfærens indhold af vanddamp. Et væsentligt spørgsmål er – efter forfatterens mening – om det er nødvendigt at gå denne lange vej for at reproducere de mest væsentlige dele af den zonale struktur. I hvert fald er modelintegrationer at betragte som en afprøvning af, i hvilken udstrækning modellen er i stand til at reproducere den observerede atmosfære, og hvor tilfredsstillende eksperimentet end er, kan det ikke kaldes en teori for atmosfærens almindelige cirkulation. Måske er det muligt, at man kan parameterisere de mest vigtige transporter af varme og moment ved hjælp af parametre hentet fra de zonale gennemsnit.

Disse tanker er heller ikke helt nye, fordi de første idéer af denne slags blev beskrevet af Green [10] og Wiin-Nielsen [11]. Siden da har idéerne taget en mere fast form og er brugt af Green [12], White og Green [13-14] og af forfatteren i en række publikationer [15-17], hvor samspillet mellem den zonale tilstand og bølgerne efterhånden er blevet mere realistiske.

Hovedprincippet

På den lille skala i atmosfæren har vi i mange år brugt diffusionsbetragtninger, hvor man for at beskrive diffusionsprocessen indfører et led i den termodynamiske ligning af formen givet i (1).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \dots \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad (1)$$

I denne ligning betyder prikkerne andre led, medens det sidste led udtrykker diffusionsprocessen. En sådan fremgangsmåde skal i princippet kun anvendes på kvasi-konservative parametre såsom den potentielle temperatur i vort eksempel, men denne hovedregel er ikke altid blevet overholdt. En kvasi-konservativ parameter bevares for en partikel, når denne ikke påvirkes af energitilskud eller dissipation.

I de modeller, som anvendes i denne artikel, har man, udover den potentielle temperatur, den potentielle vorticitet som en kvasi-konservativ størrelse. Eksempler, der er valgt så enkle som muligt, vil blive vist baseret på en homogen atmosfære med en fri overflade og en kvasi-geostrofisk model med 2 niveauer. I hver af disse modeller skal man udtrykke den meridionale transport af potentiel vorticitet i bølgerne ved hjælp af en parameterisering af typen givet i ligning (1). Det første eksempel er valgt for at vise en model, som ikke i alle henseender er i overensstemmelse med den observerede atmosfære, medens det andet eksempel er den mest enkle barokline model, som kan reproducere resultater, som er nær ved atmosfærens virkelige opførsel. Det ville ikke være vanskeligt at øge antallet af niveauer i den barokline model.

Det er derfor nødvendigt at have værdierne, som skal bruges for koefficienten K . Den er blevet bestemt af en analyse af observationer i atmosfæren, Wiin-Nielsen og Sela [18]. Det blev fundet, at K for den meridionale transport af den potentielle vorticitet af bølgerne er relativt lille i den øvre del af troposfæren, men tiltager, når man nærmer sig Jordens overflade. Man fandt også, at der var en variation med hensyn til bredden på en given isobarflade, idet K er relativt lille nær ved polen og nær ved ækvator med et maksimum derimellem. Denne fordeling er forståelig, fordi K er et mål på størrelsen af den meridionale transport af potentiel vorticitet, og denne transport er stor på de breddegrader, hvor de atmosfæriske bølger dannes og vokser til deres ultimative størrelse. Disse processer foregår i et interval omkring 45 grader N, hvor man da må antage, at K er størst. Det er naturligvis rigtigt, at området med størst bølgeaktivitet skifter fra dag til dag, men det har endnu ikke været muligt at bestemme området ved at se på kun de zonale kvasi-konservative størrelser.

Det ville naturligvis være lettere at antage, at K ikke varierede med bredden. Denne antagelse har været afprøvet, men med det resultat, at alt for store vindhastigheder i nærheden af ækvator produceres af modellerne under denne antagelse. Som en første antagelse

er variationen med hensyn til bredden derfor blevet givet den form, som findes i ligning (2).

$$K = K_m \mu^2 (1 - \mu^2); \mu = \sin(\phi) \quad (2)$$

Det ses, at den maksimale værdi forekommer ved 45 grader, og at værdien er nul ved ækvator og ved polen. Medens den første værdi kan accepteres som en første tilnærmelse, er det mere usikkert om aktiviteten er så lille i nærheden af Nordpolen. Værdierne på K_m er bestemt på en sådan måde, at middelværdien over en hemisfære beregnet fra ligning (2) er i overensstemmelse med den samme middelværdi beregnet fra studiet af observationerne.

Med denne specification af K kan modelligningerne omsættes til ligninger, som kun indeholder størrelser, som er zonale gennemsnit. Når man skal beregne størrelser elimineret fra de grundlæggende ligninger så som den vertikale p -hastighed (ω_z) er det også nødvendigt at bruge en udvekslingskoefficient for den meridionale varme transport. Den er behandlet på samme måde som de andre udvekslingskoefficienter.

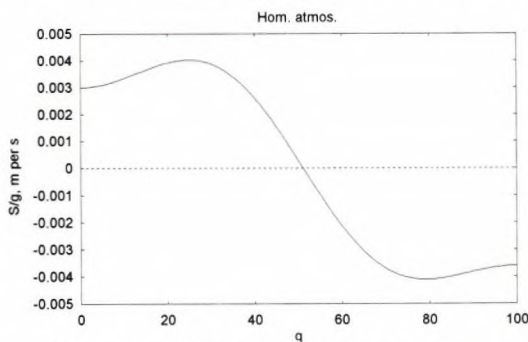
I de anvendte modeller søger vi at bestemme den stationære tilstand. Det kunne man forsøge at gøre ved at løse ligningerne, når man sætter den lokale tidsafledede til nul i ligningerne. Denne metode viser sig at være ret besværlig. En alternativ metode er at integrere de oprindelige ligninger med hensyn til tiden og håbe, at modellen efter en tilstrækkelig lang integration ender i en stationær tilstand. Det viser sig at være en god måde at løse problemet på, fordi den stationære tilstand for realistiske værdier på forceringen og dissipationen opnås efter en tidsintegration, der ikke overstiger 200 dage. De resultater, som vises i de følgende afsnit er alle beregnet fra parametrene i en stationær tilstand.

En model baseret på et homogent medium med fri overflade

Som et første eksempel skal vi anvende en model som angivet i overskriften af denne sektion. Lad mediet have en konstant massefylde ρ og en gennemsnitlig dybde lig med z_0 , hvilket giver et geopotential på $\Phi_0 = gz_0$. De grundlæggende ligninger for modellen er da vorticitetsligningen, som indeholder et divergensled og et friktionsled. Kontinuitetsligningen er speciel, fordi den indeholder et led, $S(\phi)$, som måler en væskemængde, som tilføres eller fjernes fra det homogene medium. S er defineret på en sådan måde, at der tilføres lige så meget, som der fjernes. S har i ligningen dimensionen $m^2 s^{-3}$, fordi det har samme dimension som tidsændringen af geopotentialet. S/g får da dimensionen ms^{-1} , og S/g kan da betragtes, som den væskemængde, der tilføres eller fjernes per sekund. Modellen og dens ligninger er diskuteret i Wiin-Nielsen [17].

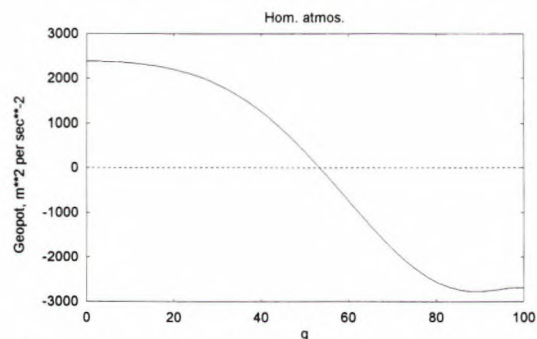
Det skal også bemærkes, at modellen anvender en kontinuitetsligning, hvor vi af energimæssige grunde har set bort fra advektionsleddet, som i øvrigt er nul, hvis man anvender den geostrofiske vind, medens koefficienten til divergensleddet er Φ_0 og ikke det vari-

able Φ . Hvis man anvender et variabelt Φ , bliver



Figur 5. Den ydre påvirkning i modellen baseret på den homogene væske med fri overflade (model 1).

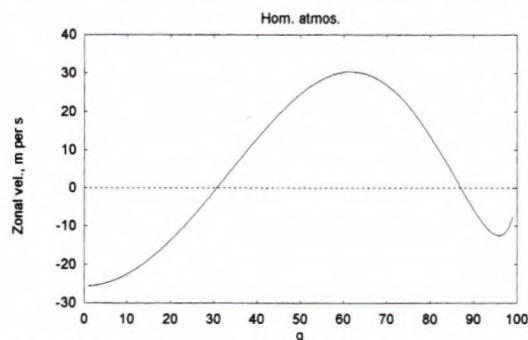
modellen inkonsistent med hensyn til energiforholdene. Divergensleddet i vorticitetsligningen elimineres gennem indsættelse fra kontinuitetsligningen, hvorved man får den eftertragtede ligning for tidsændringen af den potentielle vorticitet. Dernæst tager man det zonale gennemsnit af ligningen. I den resulterende potentielle vorticitetsligning forekommer da et led, som indeholder den meridionale transport af den potentielle vorticitet, hvorpå vi anvender vor parameterisering. Vorticiteten selv tilnærmes med en beregning baseret på den geostrofiske relation med en konstant værdi på Coriolis parameteren. Tidsintegrationen gennemføres, indtil man får en stationær tilstand, hvilket vil sige, at man nu har den stationære tilstand af vorticiteten og dermed også af geopotentialet. For at få den zonalt midlede hastighed må man af paritetsgrunde anvende balanceligningen til at opnå strømfunktionen fra geopotentialet. Da geopotentialet bliver symmetrisk med hensyn til ækvator, bliver strømfunktionen anti-symmetrisk, hvorved de zonalt midlede vinde bliver symmetriske, som de bør være. Her gøres opmærksom på, at ikke alle undersøgelser af problemet har overholdt de korrekte paritetsforhold.



Figur 6. Geopotentialet i model 1.

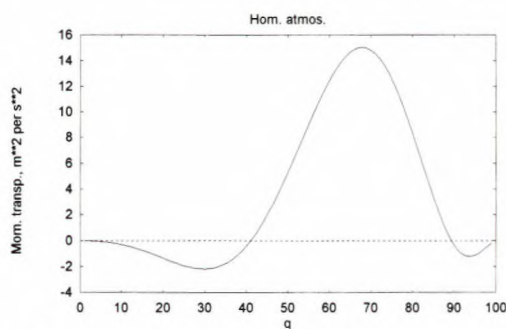
Vi skal dernæst se på et eksempel, hvor man anvender den beskrevne model. Figur 5 viser den valgte fordeling af S/g for dette eksperiment med maksimum og minimum svarende til ca. 4 mm per s. S skal selvfølgelig være en efterligning af den zonale opvarmning i atmosfæren, og der er mange andre muligheder for definitionen af denne størrelse og dens

variation med bredden. Figur 6 viser geopotentialet i den opnåede stationære tilstand. En division med tyngden, g , giver højden af den frie overflade, hvilket bliver lidt over +200 m ved ækvator og lidt mindre end -200 m ved Nordpolen. Dernæst vender vi interessen mod den zonale vind (figur 7), som er beregnet fra strømfunktionen, fundet ved løsning af balanceligningen. Der er østlige vinde i området nær ved ækvator og nær ved Nordpolen med vestenvinde mellem disse to områder. Den maksimale vind er lidt over 30 ms^{-1} ved ca. 35 grader N. Den zonale vindfordeling viser derfor en del korrekte enkeltheder, men indeholder ikke både den subtropiske og den polare jetstrøm. Endelig viser figur 8 transporten af moment af bølgerne som funktion af bredden.



Figur 7. Den zonale vind i model 1.

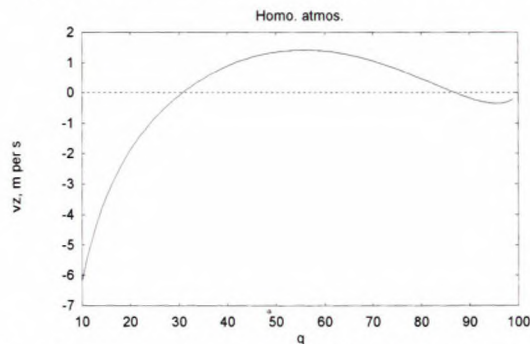
Vi kan beregne produktionen af den zonale disponible energi i eksperimentet. Den bliver $G(A_z)=6.40 \text{ Wm}^{-2}$. Da der ikke er noget advektionsled i kontinuitetsligningen, er der ingen omsætning af den zonale disponible energi til bølgeenergi. Vi kan da sige, at omsætningen fra den zonale disponible energi til den zonale kinetiske energi også må være $C(A_z, K_z)=6.40 \text{ Wm}^{-2}$, hvilket viser, at modellen er urealistisk på dette punkt. Imidlertid er der en momenttransport i modellen, og man finder efter udregning, at $C(K_e, K_z)=-0.97 \text{ Wm}^{-2}$, hvilket svarer til, at de kvasi-barotrope bølger modtager energi fra zonalstrømmen. Endelig er der en dissipation af den zonale kinetiske energi på 7.37 Wm^{-2} , så der er balance i energibudgettet.



Figur 8. Momenttransporten i model 1.

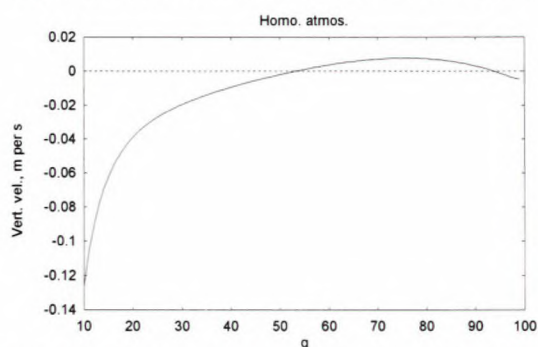
Vi har derfor i denne model en stor omsætning af energi fra A_z til K_z . Det må betyde,

at modellen har en relativt stor meridional cirkulation. Vi kan beregne det zonale gennemsnit af den meridionale vindkomponent, v_z , fra det zonale gennemsnit af den første bevægelsesligning, hvor der skal være balance mellem konvergensen af momenttransporten, Corioliskraften og friktionskraften. Ved denne beregning er der det problem, at de forskellige led går mod uendelig på ækvator og derfor er meget store i nærheden af denne diskontinuitet.



Figur 9. Gennemsnittet af den meridionale vind i model 1.

Figur 9 viser v_z fra $q=10$, svarende til ca. 6 breddegrader, til Nordpolen. Den meridionale cirkulation er derfor stor sammenlignet med den virkelige atmosfære. Dette ses også i Figur 10, hvor vertikalhastigheden er beregnet fra det zonale gennemsnit af kontinuitetsligningen. Man finder værdier på flere cm per s, hvilket er meget større end de resultater, som man finder både fra observationsstudier og fra den barokline model, som skal beskrives i det næste afsnit. For at afprøve de beregnede værdier af v_z og w_z blev energiomsætningen $C(A_z, K_z)$ beregnet direkte. Resultatet var i god overensstemmelse med den beregnede værdi af $G(A_z)$, når man tager hensyn til, at disse størrelser er beregnet med endelige differenser og numeriske integrationer. Vi kan derfor konkludere, at modellen betragtet i dette afsnit giver rimelige resultater med hensyn til geopotentialet og de zonale vinde, men da modellen ikke har alle de transport, som findes i atmosfæren, kan den ikke betragtes som fyldestgørende. Vi skal derfor se på en mere realistisk model i det næste afsnit.



Figur 10. Gennemsnit af den vertikale hastighed i model 1.

Gennemgangen af denne model viser, at en kvasi-barotrop model som diskuteret af Rossby [19-20] ikke

kan give det endelige svar på placeringen og styrken af de atmosfæriske jetstrømme.

Den kvasi-geostrofiske model med to niveauer

Modellen i dette afsnit er den kendte 2 niveau model, hvor vorticitetsligningen anvendes på isobarfladerne 250 og 750 hPa, medens den termodynamiske ligning anvendes på laget mellem disse to flader. Den vertikale p -hastighed ($\omega = dp/dt$) elimineres ved at løse den termodynamiske ligning for denne størrelse, hvorefter resultatet indsættes i de to vorticitetsligninger. Herved opnår man to kvasi-konservative størrelse, én på niveau 1 (250 hPa) og en anden på niveau 3 (750 hPa). Niveau 2 er på 500 hPa, og det er på dette niveau, at man senere kan beregne den vertikale hastighed. Modellen er beskrevet i mange publikationer og lærebøger (se f.eks. Holton [21]). De to kvasi-konservative størrelser er de potentielle vorticiteter på niveauerne 1 og 3. De er angivet i ligning (3).

$$\begin{aligned}\xi_1 &= \frac{1}{f_0}[\nabla^2 \Phi_1 - q^2(\Phi_1 - \Phi_3)/2] \\ \xi_2 &= \frac{1}{f_0}[\nabla^2 \Phi_3 + q^2(\Phi_1 - \Phi_3)/2] \\ q^2 &= \frac{2f_0^2}{\sigma P^2}\end{aligned}\quad (3)$$

I disse ligninger er vorticiteten udtrykt geostrofisk ved hjælp af geopotentialet på de to niveauer, medens q^2 er en parameter med dimensionen m^{-2} indeholdende en repræsentativ værdi af Coriolis parameteren, et mål (σ) for den statiske stabilitet og en trykforskel $P=5 \times 10^4$ Pascal mellem niveauerne 1 og 3. Disse kvasi-konservative størrelser bruges i de to ligninger gældende for niveau 1 og 3 til at parameterisere den meridionale potentielle vorticitetstransport, hvorved man får et lukket system, som kan tidsintegreres til en stationær tilstand ligesom i det foregående eksempel. Koefficienter for udvekslingen mellem bølgerne og den zonale tilstand har samme form som i det første eksempel (se ligning (2)).

Det umiddelbare resultat af integrationen er geopotentialet og den geostrofiske vorticitet på de to niveauer. På hvert niveau anvender vi dernæst den zonale form af balanceligningen, hvorved vi beregner strømfunktionerne. Fra disse opnås derefter den zonale vind på niveau 1 og 3. Man kan også beregne den vertikale p -hastighed på niveau 2, men i dette tilfælde er det nødvendigt at bruge en koefficient K_h for udveksling af varme mellem bølgerne og det zonale gennemsnit. Også denne kan fås fra tidligere observationsstudier, og den tildeles den samme variation med bredden som de andre udvekslingskoefficienter. Modellens energiforhold kan bestemmes. Da modellen er en baroklin model, får vi i dette tilfælde også en energiomsætning mellem den disponible potentielle energi i den zonale tilstand og i bølgerne, d.v.s. $C(A_z, A_e)$. Da denne energiomsætning indeholder transporten af

varme, må vi i denne beregning bruge koefficienten K_h . For hver integration af modelligningerne må vi angive den zonale opvarmning. En sådan må i hvert fald vise en opvarmning på de lave bredder og en afkøling på de høje. Man kan naturligvis komme frem til opvarmningen ved at starte med den indkommende energi fra Solen og dernæst tage hensyn til albedoen og til den absorption, som finder sted af denne stråling af skyer og vanddamp. Samtidigt skal man naturligvis gøre rede for den Stefan-Boltzmann stråling, som kommer fra Jordens overflade og fra atmosfæren. I et sådant tilfælde beregnes opvarmningen fra et strålings budget. I det eksempel, som skal vises her, bruges den opvarmning, som er beregnet daglig fra den globale model, som anvendes af ECMWF (European Centre for Medium-Range Forecasts). Opvarmningen er gennemsnittet for januar 1999, men da man for sammenligningens skyld vil have en symmetrisk fordeling omkring ækvator er alle de asymmetriske Legendre komponenter udeladt.

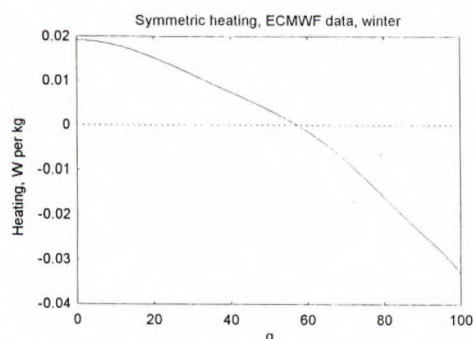


Figure 11. Opvarmningen i to-niveau modellen (Model 2).

Grundligningerne for modellen er omskrevet til ligninger, der forudsiger amplituderne for de forskellige Legendre komponenter, men de resultater, som skal diskuteres i det følgende, består af syd-nord fordelinger, der er opnået ved at beregne feltfordelingerne som en sum af Legendrekomponenter. Da vi ser på den store skala, er kun de første 10 komponenter taget med i integrationen.

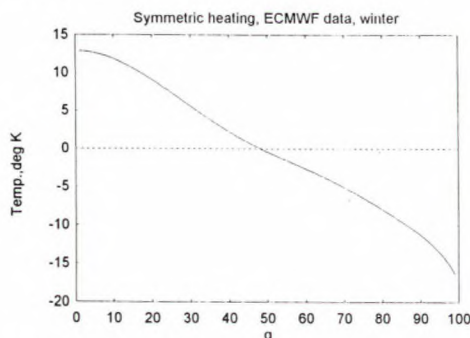


Figure 12. Temperaturen i model 2.

Figure 11 viser fordelingen af opvarmningen fra ækvator ($q=0$) til polen ($q=100$). Nettoopvarmningen fra ækvator til pol er nul. Overgangen fra opvarmning til afkøling sker ved ca. 37 grader. Man må tænke på

denne opvarmning som et vertikalt gennemsnit for hver breddegrad, eller som gældende ved 500 hPa niveauet. Opvarmningen holdes konstant under hele integrationen. Som allerede nævnt er et umiddelbart produkt af integrationen geopotentialerne for de to niveauer. Forskellen mellem disse kan ved hjælp af den hydrostatiske ligning og gasligningen omsættes til en temperatur, som man kan sige vil være anvendelig på ca. 500 hPa. Figure 12 viser denne temperatur. Man ser en overgang fra positive til negative grader omkring 30 breddegrader. Den totale temperaturforskelle mellem ækvator og pol er ca. 30 grader C, som er af samme størrelsesorden som den observerede forskel. I figure 13 findes de tilsvarende forskelle i geopotentialet for 500 hPa (fuldt optrukne kurve) og for termalfeltet. Summen af disse to kurver giver geopotentialet for 250 hPa, medens differensen giver geopotentialet for 750 hPa.

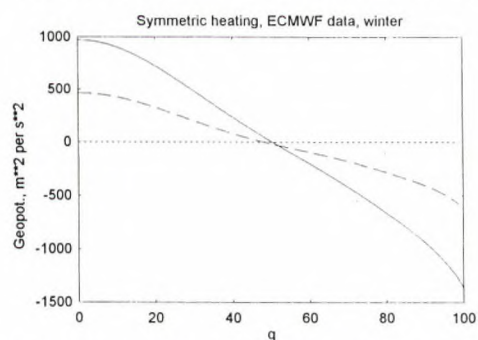
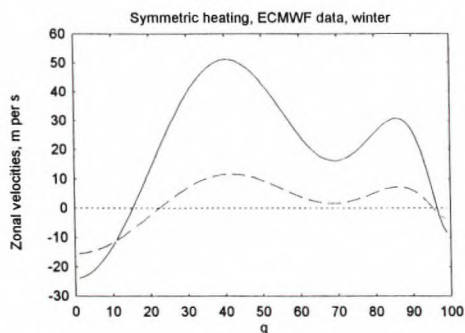


Figure 13. Geopotential for 500 hPa (fuldt optrukket) og termal feltet i model 2.

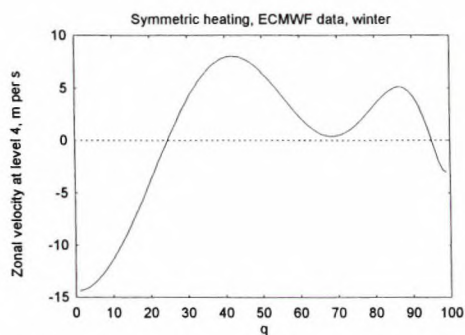
I figure 14 ses de beregnede zonale vinde for det øvre niveau (fuldt optrukket kurve) og for det nedre niveau. Den maksimale vind er på 250 hPa ved ca. 25 breddegrader med en værdi på ca. 50 ms^{-1} . På samme niveau finder vi et sekundært maksimum ved ca. 58 grader nord på ca. 30 ms^{-1} . Der er østlige vinde nær ved ækvator og nær ved polen. Fordelingen på 750 hPa fladen kan beskrives på næsten samme måde med den bemærkning, at vindene her er betydeligt mindre. En væsentlig forskel mellem den barokline model og den kvasi-geostrofiske model i det foregående afsnit er de to vind maxima, som svarer til henholdsvis den subtropiske jet og den polare jet, som også findes i observationerne. Figure 15, der viser den estimerede zonale vind ved Jordens overflade, beregnet ved lineær ekstrapolation af de to kurver i figure 14, har også de to maksima og østenvindene på de lave bredder og de meget høje bredder. Vi må konkludere, at den barokline model passer meget bedre med observationerne af vinden end modellen i det foregående afsnit. Det bemærkes dog, at den polare jet har for store vindhastigheder.

Vi vender os dernæst til beregningen af den meridionale transport af varme fra modellen. Den ses i figure 16, hvor de beregnede værdier er divideret med 10^7 for at skabe en bedre figur. Denne figur kan sammenlignes med varmetransporten for december, januar og februar, der kan findes (på side 66)

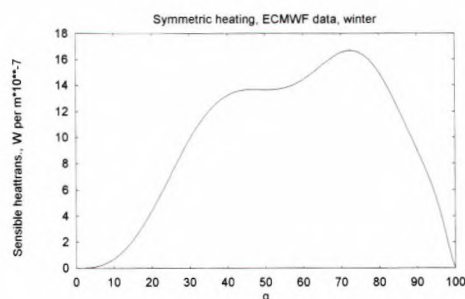
i Wiin-Nielsen og Chen [9]. Kurven i figur 6 er $H_T = c_p p_o (Tv)_z / g$, medens kurven baseret på observationer er $(Tv)_z$, men c_p er ca. $10^3 \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ D}^{-1}$, p_o er ca. 10^5 Pascal, og g er ca. 10 ms^{-2} , hvilket giver en værdi på for $c_p p_o / g$ på ca. 10^7 , således at de to kurver er sammenlignelige. Modelresultatet er derfor af den rigtige størrelsesorden, fordi observationskurven har en maksimal værdi på 15.6 enheder.



Figur 14. De zonale vinde på 250 hPa (fuldt optrukket) og 750 hPa i model 2.



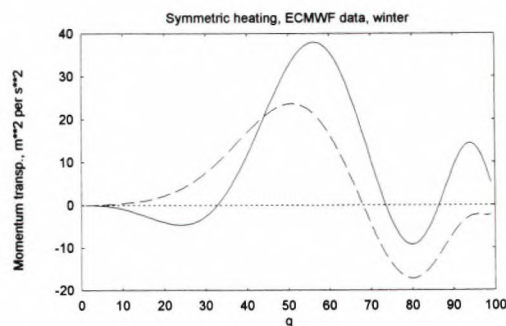
Figur 15. De zonale vinde ved 1000 hPa i model 2.



Figur 16. Varmetransporten i model 2.

Figur 17 viser momenttransporten på 250 hPa (fuldt optrukket kurve) og på 750 hPa. Den maksimale transport mod nord findes en smule nord for 30 breddegrader, medens den maksimale transport mod syd er på ca. 55 breddegrader. De maksimale transport er sammenlignet med observationsstudier for vintermånederne også for denne transport af den korrekte størrelsesorden (se f.eks. Wiin-Nielsen og Chen [9], side 68).

Som den sidste figur skal vi se på beregningen af den vertikale p -hastighed, som findes i figur 18. På denne figur, hvor man skal huske, at negative værdier svarer til en opadgående bevægelse og positive værdier til synkende bevægelse, ser man tydeligt Hadley circulationen mellem ækvator og ca. 20 grader nord efterfulgt af en bred Ferrel celle og med en svag Hadley celle nær ved Nordpolen. Modellen kan derfor også fremstille disse ganske svage meridionale celler. Hastighederne er imidlertid under 1 mm per s, når p -hastigheden omsættes til den normale hastighedsdimension.



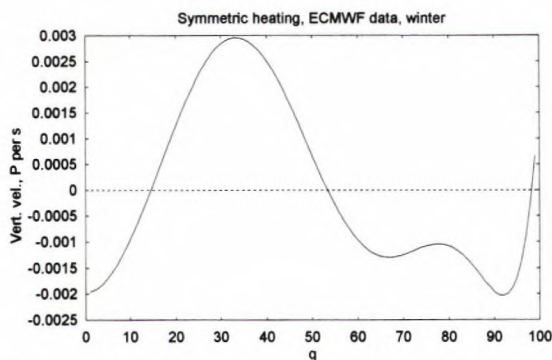
Figur 17. Moment-transporten på 250 hPa (fuldt optrukket) og på 750 hPa i model 2.

Det eksempel, som er beskrevet i dette afsnit, har også energiforhold af den korrekte størrelsesorden. For den disponible energi finder vi $A_z = 5452 \text{ kJ per m}^2$ og $K_z = 3700 \text{ kJ per m}^2$. Energiomsætningerne, alle givet i W per m^2 , er $G(A_z) = 4.81$, $C(A_z, A_e) = 5.12$, $C(A_z, K_z) = -0.31$, $C(K_e, K_z) = 1.90$ og $D(K_z) = 1.59$. Sammenlignet med eksemplet i det forudgående afsnit har vi nu med den barokline model fået resultater, som både med hensyn til fortegn og størrelsesorden, er blevet forbedret. Man bør specielt bemærke, at overgangen fra A_z til K_z nu er en ganske lille størrelse.

Afsluttende bemærkninger

I denne artikel har det været formålet at beskrive de nyere teorier for atmosfærens zonale tilstand. Disse teorier tager hensyn til udvekslingen mellem de atmosfæriske bølger og zonaltilstanden ved at modellere denne udveksling ved hjælp af udvekslingskoefficienter for kvasi-konservative størrelser, nemlig den potentielle vorticitet og den potentielle temperatur. Værdierne og fordelingen med hensyn til bredden af udvekslingskoefficienterne på de forskellige trykflader er baseret på observationsstudier.

Med en opvarmning, som er symmetrisk med hensyn til ækvator, er der lagt vægt på at gennemføre beregningerne på den sfæriske Jord på en sådan måde, at de zonale gennemsnit af geopotentialet, temperaturen og vinden også bliver symmetriske omkring ækvator, medens strømfunktionerne bliver asymmetriske.



Figur 18. Det zonale gennemsnit af den vertikale p -hastighed i model 2.

Teorien giver resultater, som er i rimelig god overensstemmelse med den observerede tilstand i atmosfæren mellem ækvator og pol, når man betragter den zonale tilstand i gennemsnit med hensyn til den geografiske længde og med hensyn til tiden. Den kvasi-geostrofiske model med to niveauer viser ikke kun gode resultater for geopotentialet, temperaturen og vinden, men er også i stand til at reproducere de i de klassiske teorier så meget omtalte Hadley og Ferrel celler. Beregningen af energiomsætningen i modellen viser tydeligt, at den rolle, som Hadley og Ferrel cellerne spiller i energiomsætningen, er minimal, således at modellen også er i god overensstemmelse med observationsstudier med hensyn til energiudvekslingen mellem den zonale tilstand og bølgerne. Modellen har i den disponible energi en overgang fra det zonale middel til bølgerne, medens det er de atmosfæriske bølger, som leverer den kinetiske energi til det zonale gennemsnit.

Referencer:

- [1] G. Hadley (1735) "Concerning the cause of the general trade-winds, *Phil. Trans.*, bind 26, side 58–62.
- [2] W. Ferrel (1856) "An essay on the winds and the currents of the ocean", *Nashville Jour. of Medicine and Surgery*, bind 11, side 287–301, genoptrykt (1882) i "Popular essays on the movements of the atmosphere", *Prof. Pap. Signal Service*, Nr. 12, Washington D.C., side 300–307.
- [3] E. N. Lorenz (1967) "The nature and theory of the general circulation of the atmosphere", *World Meteorological Organization*.
- [4] V. Bjerknes (1921) "On the dynamics of the circular vortex with applications to the atmosphere and atmospheric vortex and wave motion", *Geofys. Publ.*, bind 2, Nr. 4.
- [5] T. Bergeron (1928) "Über die dreidimensionale verknüpfende wetteranalyse", *Geofys. Publ.*, 5, Nr. 6.
- [6] L. A. Vuorela og I. Tuominen (1964) "On the mean zonal and meridional circulations and the flux of moisture in the northern hemisphere during the summer season", *Pure and Appl. Geophysics*, bind 57, side 167–180.
- [7] N. A. Phillips (1956) "The general circulation of the atmosphere: A numerical experiment", *Q.J. of the Roy. Met. Soc.*, bind 82, side 123–164.
- [8] Y. Mintz (1964) "Very long-term global integrations of the primitive equations of atmospheric motion", *WMO-IUGG Symp. on res. and dev. aspects of long-range forecasts*, Tech. Note, Nr. 66, side 141–155.
- [9] A. Wiin-Nielsen og T. C. Chen (1993) "Fundamentals of atmospheric energetics", *Oxf. Univ. Press*.
- [10] J. S. A. Green (1968) "Transfer of heat and momentum by cyclone scale eddies in the general circulation", *Proc. of Symp. on Num. Wea. Pred.*, Tokyo, Japan, IV, side 17–20.
- [11] A. Wiin-Nielsen (1968) "On atmospheric response to large-scale seasonal forcing", *Proc. of Symp. on Num. Wea. Pred.*, Tokyo, Japan, IV, side 21–27.
- [12] J. S. A. Green (1970) "Transfer properties of the large-scale eddies and the general circulation of the atmosphere", *Q.J. of the Roy. Met. Soc.*, bind 96, side 157–185.
- [13] A. A. White og J. S. A. Green (1982) "A nonlinear atmospheric long wave model incorporating parameterizations of transient baroclinic eddies", *Q. J. of the Roy. Met. Soc.*, bind 108, side 55–85.
- [14] A. A. White og J. S. A. Green (1984) "Transfer coefficients eddy flux parameterizations in a simple model of the zonal average of atmospheric circulations", *Q. J. of the Roy. Met. Soc.*, bind 110, 1035–1052.
- [15] A. Wiin-Nielsen (1988) "A heuristic theory of the zonally-averaged state of the atmosphere", *Mat. Fys. Medd*, bind 42:2, *Roy. Danish Aca. of Sci. and Letters*.
- [16] A. Wiin-Nielsen (1994) "The zonal atmospheric structure", *Atmosfera*, bind 7, side 185–210.
- [17] A. Wiin-Nielsen (1999) "The zonal atmospheric structure: A heuristic theory, Part 2", udkommer i *Atmosfera*.
- [18] A. Wiin-Nielsen og J. Sela (1971) "On the transport of quasi-geostrophic potential vorticity", *Mo. Wea. Rev.*, bind 99, side 457–459.
- [19] C.–G. Rossby (1938) "On the maintenance of the westerlies south of the polar front. Fluid mechanics applied to the study of atmospheric circulations", *Pap. Phys. Oceanog. Meteor.*, bind 7, Nr. 1, side 9–17.
- [20] C.–G. Rossby (1937) "On the distribution of angular velocity in gaseous envelopes under the influence of large-scale horizontal mixing processes", *Bull. of the A.M.S.*, bind 28, side 53–68.
- [21] J. R. Holton (1979) "An introduction to dynamic meteorology", *Acad. Press*.



Aksel Wiin-Nielsen er professor emeritus, Geofysisk Afdeling, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.

Newtonsk gravitation: Fra orden til kaos

René Michelsen, Astronomisk Observatorium, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.

Newtons gravitationslov,

$$F = -G \frac{Mm}{r^2}, \quad (1)$$

er et udtryk for kraften mellem to legemer (med masserne M og m), der befinder sig i afstanden r fra hinanden. Det var epokegørende at Newton kunne præsentere denne forholdsvis simple relation i den første udgave af "Principia" i 1687. Men mindst lige så vigtigt var det at Newton ud fra denne gravitationslov var i stand til at udlede Keplers tre love, som Kepler tidligere var nået frem til ud fra Tycho Brahes observationer. Keplers love beskriver, at planeterne i Solsystemet bevæger sig rundt om Solen i ellipseformede baner, på en regelmæssig måde. Men faktum er, at ligesom Keplers love kun gælder for den relative bevægelse af to legemer, gælder Newtons gravitationslov for kraften mellem to legemer. Vil man derfor behandle dynamikken af et system med mere end to legemer, som f.eks. Solsystemet, bliver den ellers simple og ordnede ligning (1) forvandlet til et yderst kompliceret system, hvor Keplers love kun er en approksimation til den faktiske dynamik.

Newtons gravitationslov har således givet, og giver stadig væk anledning til adskillige store hovedbrud. Vi skal således her se på nogle af de overraskende store udfordringer der ligger gemt i gravitationsloven.

Hvirvler og gravitation

Da Newton formulerede sin gravitationslov, var man ikke umiddelbart overbevist om dens rigtighed. Gravitationsloven var ganske vist en kvantitativ teori for vekselvirkningerne mellem planeterne og Solen og Keplers tre love kunne udledes fra den. Men samtidig var den ikke intuitivt indlysende, i og med at den ikke redegjorde for hvordan en kraft blev overført fra et legeme til et andet.

René Descartes havde tidligere fremsat sin hvirvelteori, en teori som sagde at rummet mellem planeterne var fyldt med noget særligt stof, æteren, som drejede rundt om Solen i nogle store hvirvler, og samtidig fik planeterne til at bevæge sig. Denne hypotese er intuitivt forståelig, da planeternes bevægelser således kunne forklares med påvirkningen fra et stof som selv i tidernes morgen var sat i bevægelse. Newtons gravitationslov er derimod en abstrakt størrelse, som opererer med det vage begreb "kraft", der i sig selv ikke giver nogen større forståelse af fysikken bag bevægelserne. Som sådan stiller gravitation større krav til den intellektuelle fantasi end hvirvler.

Begge disse hypoteser manglede dog overbevisende argumenter. Man havde observeret at kometerne bevægede sig i samme slags baner som planeterne, men på tværs af planetbanerne. Tilstedeværelsen af en æter måtte imidlertid betyde at kometerne pga. gnidningsmodstanden måtte blive bremsset op i deres bevægelse og falde ind mod Solen, hvilket dog ikke passede med det observerede.

Tilsvarende viste det sig at Newtons gravitationslov tilsyneladende ikke stemte overens med observationerne. Den kunne ganske vist redegøre for bevægelsen i store træk, svarende til Keplerbevægelsen, men der var nogle små variationer i planeternes bevægelser, udledt vha. tusind-år gamle observationer af planeterne og sol- og måneformørkelser. Disse variationer synes ikke umiddelbart at kunne hidrøre fra gravitationsloven alene.

Newton selv foreslog at disse variationer i især Månens bevægelse måtte skyldes ændringer i planeterne masser, som følge af gasser fra Solen og kometer der faldt ned på planeterne, eller også at Solen blev lettere med tiden. Et mere raffineret forslag blev fremsat af Clairaut (1713-1765, se også figur 1), som foreslog at gravitationskraften måtte beskrives ved et yderligere afstandsafhængigt $\frac{1}{r^4}$ -led, ud over det enlige $\frac{1}{r^2}$ -led i (1), en idé som også blev taget op af Leonhard Euler.

Men som det skulle vise sig, så var årsagen til forskellen mellem teori og observationer den, at man havde undervurderet problemets karakter. Newtons gravitationslov resulterer ganske vist i den smukke Kepler-bane, som en planet i kredsløb om Solen ville følge hvis de ellers var alene. Men planeten vekselvirker også med de øvrige planeter i Solsystemet, og disse vekselvirkninger er man også nødt til at tage højde for, når man vil opskrive den totale kraft, der virker på en given planet. Vekselvirkningerne mellem planeterne er dog blot små perturbationer, dvs. forstyrrelser, af vekselvirkningen planet-Sol. Det var derfor helt naturligt at man så bort fra disse små perturbationer. Perturbationerne har nemlig ikke kun den effekt, at de forstyrrer planeterne bevægelser og får dem til afvige fra Keplers love og de rene ellipsebaner: Perturbationerne gør også de ligninger man skal løse umådeligt komplicerede, og rent matematisk var tiden ikke moden til at håndtere perturbationsproblemer. Det var dog Clairaut, som i 1749 nåede frem til at man ved at forbedre sine approksimationer, teoretisk kunne redegøre for næsten hele Månens bevægelse, udelukkende ved brug af Newtons gravitationslov. At hans beregninger var yderst avancerede for hans tid afspejler sig i, at da Leonhard Euler i 1751

endelig forstod Clairauts metode, skrev han til ham, at *“Denne opdagelse er den vigtigste og mest dybsindige i matematikkens historie”*. For Clairaut havde ikke blot som den første beskrevet Månens bevægelse analytisk, han havde også vist at Newtons gravitationslov var nok til at redegøre for Månens bevægelse, og at der ikke var brug for hvirvelteorier eller $\frac{1}{r^4}$ -led, uanset hvordan kraftoverførslen mellem planeterne ellers fandt sted. Den analytisk-kritiske holdning sejrede således over hvad man intuitivt havde forventet.



Figur 1. Alexis Clairaut (1713-1765), den første til at redegøre for Månens bevægelse ud fra Newtons gravitationslov.

Solsystemets stabilitet

Perioden omkring Clairaut var i det hele taget præget af en stor udvikling, især drevet frem af den kendte matematiker Leonhard Euler, hans søn Johann Albrecht Euler, Charles Euler, Jean d'Alembert, Pierre-Simon Laplace og Joseph-Louis Lagrange, med udvikling af mere og mere raffinerede matematiske metoder. Laplace og Lagrange kunne hånd i hånd således udarbejde et bevis på Solsystemets stabilitet. De påviste at variationerne i den halve storakse, eccentriciteten og tangenten til inklinationen af planetbanerne, se boks 1, udelukkende var periodiske. Det betyder at planetbanerne ganske vist ændrede sig ifht. en Kepler-bane, men i og med at ændringerne var periodiske med begrænsede amplituder, ville Solsystemet være stabilt, dvs. planetbanerne ville se ud som de altid havde gjort.

Dette var samtidig udtryk for en deterministisk grundtanke; hvis man kendte planeterne tilstand til en given tid (dvs. deres masser, positioner og hastigheder), så ville man kunne beregne tilstanden til et hvilket som helst givet tidspunkt.

Boks 1. Baneelementer

I stedet for at beskrive en planets bevægelse ved dens position og hastighed kan man i stedet for benytte de såkaldte banelementer. Af disse er

den halve storakse a halvdelen af ellipsebanens længde, og inklinationen i angiver hældningen af banen ifht. en referenceplan. Eccentriciteten e

fortæller noget om hvor meget banen afviger fra en cirkel. Er $e = 0$ er banen cirkelformet, er e tæt på 1 er banen meget elliptisk. For $e = 1$ og $e > 1$ er banerne hhv. paraboliske og hyperbolske.

Delaunays måneteori

Udvikling af de nye matematiske metoder førte også til udviklingen af den kanoniske perturbationsteori, hvor man behandler banevariationerne ved at undersøge perturbationerne af energien af systemet. Højdepunktet af disse metoder var Delaunays matematiske beskrivelse af Månens bevægelse (se boks 2). Delaunay var fra starten blevet frarådet at kaste sig over dette arbejde, da man mente at det ville overstige den menneskelige formåen. Men opmuntret af sine personlige støtter gik han igang med arbejdet, og 20 år senere, i 1860, blev første bind af hans beregninger publiceret, efterfulgt af andet bind i 1867. Hans arbejde er enestående, og et godt eksempel på udviklingen siden diskussionen om hvirvelteori kontra newtonsk gravitation.

Opdagelsen af Neptun

Gravitationsloven skulle prøves endnu engang. Uranus blev opdaget i 1781, men uregelmæssigheder i dens bane gav anledning til undren, og man begyndte at overveje om disse uregelmæssigheder kunne skyldes et $\frac{1}{r^4}$ -led, æteren eller en hidtil uopdaget planet. Man havde altså endnu ikke sluppet den gamle tankegang helt, men fandt det nærliggende at der ganske enkelt måtte være mere mellem himmel og jord end Newtons gravitationslov. Rent faktisk var et problem af denne art et omvendt perturbationsproblem. Hidtil havde man ud fra Newtons gravitationslov bestemt perturbationerne af en planets bane, og regnet sig frem til banen af planeten. Nu havde man observeret banen, og skulle så regne sig frem til perturbationerne.

Adams fra Cambridge og Leverrier i Paris regnede, uafhængigt af hinanden, frem til positionen af en evt. uopdaget planet. Adams var først med sine beregninger, ca. et år før Leverrier, men Leverrier sendte resultatet af sit regnestykke til bl.a. Galle i Berlin, som havde det nyeste og bedste stjernekort til sin rådighed. Få dage efter, den 26. september 1846, kunne Galle som den første observere og identificere den nye planet, Neptun. Adams forsøgte også at sætte gang i en engelsk

eftersøgning af den uopdagede planet, men formåede ikke at få sine omgivelser til at foretage en helhjetet indsats.

Denne mangel på motivation vækker undren, og var årsag til de mest forbitrede stridigheder, både internt i England og på tværs af Den engelske Kanal. Ifølge Smart (side 28, se referencerne), skal direktøren for Cambridge observatoriet, James Challis, have sagt at *“det var så ny en ting at foretage observationer udelukkende i tiltro til teoretiske udledninger, og at mens det var sikkert at det ville involvere meget arbejde, synes succes at være tvivlsomt”*. Om Challis’ udtalelse blot er en dårlig undskyldning skal jeg lade være usagt.

Men hvis han mente det alvorligt, er det yderst interessant at den episode skulle opstå, netop i en periode, hvor den celeste mekanik gennemgik den største udvikling, rent matematisk, men hvor man endnu ikke havde vænnet sig til den nye tankegang. Newtonsk gravitation var stadig en mental udfordring 200 år efter “Principia”.

Netop opdagelsen af Neptun er der skrevet meget om, ikke mindst pga. de stridigheder, der opstod i kølvandet af opdagelsen. Desuden hævdes det af og til, at opdagelsen i høj grad skyldtes en række heldige omstændigheder. Men hvordan det end forholdt sig, så blev opdagelsen et stort mentalt fremskridt for den newtonske gravitation.

Boks 2. Eksempel på en rækkeudvikling

Dette eksempel er en forkortet udgave af Delaunays perturbationsfunktion for Månen, hvor man udover påvirkningen fra Jorden (de umærkede størrelser) medtager perturbationen fra Solen (de mærkede størrelser). Eksemplet går til anden orden i eccentriciteterne (e og e') og inklinationer (i og i' , $\gamma = \sin \frac{i}{2}$ og tilsvarende for γ'), og består af 25 periodiske led. Delaunays oprindelige system går til 8. orden, dog medtagende enkelte 9. og 10. ordens led, og består af 320 periodiske led. Til sammenligning går Jacques Laskars ligningssystem for planeterne i Solsystemet (undtagen Pluto) til 5. orden mht. eccentriciteterne og inklinationer, og til anden orden mht. planetmasserne, og består af 153.824 led, dvs. lidt mere end 6000 gange så mange led som vist i dette eksempel. Der er ca. 400 år imellem Keplers love om planeternes uperturberede bevægelse, og Laskars perturbationsligninger for planeterne i Solsystemet (undtagen Pluto).

$$\begin{aligned}
 R = n'^2 a^2 & \left[\frac{1}{4} + \frac{3}{8}e^2 + \frac{3}{8}e'^2 - \frac{3}{2}\gamma^2 + \frac{3}{4}e' \cos(\lambda' - \varpi') - \frac{1}{2}e \cos(\lambda - \varpi) - \frac{9}{4}e \cos(\lambda - 2\lambda' + \varpi) \right. \\
 & + \frac{21}{8}e' \cos(2\lambda - 3\lambda' + \varpi') - \frac{3}{8}e' \cos(2\lambda - \lambda' - \varpi') + \frac{3}{4}e \cos(3\lambda - 2\lambda' - \varpi) \\
 & + \frac{15}{8}e^2 \cos(2\lambda' - 2\varpi) + \frac{9}{8}e'^2 \cos(2\lambda' - 2\varpi') - \frac{63}{8}ee' \cos(\lambda - 3\lambda' + \varpi + \varpi') \\
 & - \frac{3}{4}ee' \cos(\lambda - \lambda' - \varpi + \varpi') + \frac{9}{8}ee' \cos(\lambda - \lambda' + \varpi - \varpi') - \frac{3}{4}ee' \cos(\lambda + \lambda' - \varpi - \varpi') \\
 & + \frac{51}{8}e'^2 \cos(2\lambda - 4\lambda' + 2\varpi') + \frac{3}{2}\gamma^2 \cos(2\lambda' - 2\Omega) + \left(\frac{3}{4} - \frac{15}{8}e^2 - \frac{15}{8}e'^2 - \frac{3}{2}\gamma^2 \right) \cos(2\lambda - 2\lambda') \\
 & - \frac{1}{8}e^2 \cos(2\lambda - 2\varpi) + \frac{3}{2}\gamma^2 \cos(2\lambda - 2\Omega) + \frac{21}{8}ee' \cos(3\lambda - 3\lambda' - \varpi + \varpi') \\
 & \left. - \frac{3}{8}ee' \cos(3\lambda - \lambda' - \varpi - \varpi') + \frac{3}{4}e^2 \cos(4\lambda - 2\lambda' - 2\varpi) \right].
 \end{aligned} \tag{2}$$

Den eftertænksomme periode

Selvom fremskridtene var særdeles store, så var der alligevel nogle detaljer, der manglede at komme på plads; newtonsk gravitation skulle også gennemgå en periode præget af eftertanke.

Først var der Leverriers opdagelse af Merkurs bane-drejning i 1855. Opdagelsen skulle vise sig at tilhøre en anden tid med andre udfordringer, i og med den først blev forklaret med Einsteins generelle relativitetsteori fra 1915. Rummets krumning er i sig selv en perturbation af den newtonske gravitation. Så i den forstand fik

skeptikerne, ironisk nok, ret i at der manglede et $\frac{1}{r^3}$ -led.

Anderledes problematisk forholder det sig med Solsystemets stabilitet. Laplace og Lagrange havde i deres arbejder opstillet analytiske udtryk for visse af baneelementernes opførsel. Disse udtryk bestod af rækkeudviklinger, dvs. summer af trigonometriske funktioner, jvfr. boks 2. Beviset var dog kun formelt, for i praksis havde man ikke nogen fornemmelse af om disse rækker var konvergente, dvs. om rækkeudviklingerne egentlig gav mening.

Henri Poincaré var en af de meget store bidragydere til den celeste mekanik; hans “Les Méthodes nouvelles

de la Mécanique céleste" i tre bind fra 1892-1899 lagde grundlaget for den efterfølgende udvikling, både inden for celest mekanik og inden for dele af matematikken. Poincaré tog konvergensproblemet under behandling, og kunne konkludere, at de anvendte rækkeudviklinger kun var semi-konvergente, dvs. de var kun gyldige under visse forudsætninger, og kun i begrænsede tidsintervaller. Med Poincarés resultat er det således ikke muligt at komme med nogen konklusion på Laplaces og Lagranges arbejde. Problemet med Solsystemets stabilitet var altså stadig åbent. Fremskridtet havde resulteret i ny viden, der havde reduceret den gamle.

Efter Poincaré kom der en ny tid, hvor udviklingen inden for den nu noget halte celest mekanik, ikke synede af meget i forhold til den eksplosive udvikling der fandt sted inden for andre dele af videnskaben, på trods af de væsentlige problemer, der endnu stod uløste. Den celest mekanik viste sig efterfølgende at kræve endnu en grad af abstraktion, og nå et endnu højere udfordringsniveau.

KAM-sætningen

Ideerne om kaos, der tog form i midten af det tyvende århundrede havde også deres afsmitning på astronomien. Et vigtigt resultat blev KAM-sætningen, fremsat af Kolmogorov i 1953, og bevist af Moser i 1962 og Arnold i 1963. Resultatet er en videreudvikling af Poincarés arbejde, men bygger på forholdsvis komplicerede matematiske metoder. Newtons gravitationslov var stadig det underliggende grundlag, selvom den kan synes forsvundet i abstraktionerne og de generelle metoder. KAM-sætningen siger, at under visse betingelser vil det for et perturberet system være muligt at finde løsninger til systemet. Dvs. at hvis planeterne i Solsystemet opfylder KAM-sætningens betingelser, vil det være muligt at opnå gyldige beskrivelser af planeterne baner. For stabilitetsproblemet vedkommende er KAM-sætningen dog blot et springbrædt til den videre udvikling. Det er nemlig ikke bevist at Solsystemets planeter opfylder KAM-sætningen, så umiddelbart er man ikke nået løsningen nærmere. Men man er begyndt at få en fornemmelse af den overordnede dynamik, og af at der måske skal nogle meget radikale og nye værktøjer til.

Kaos i Solsystemet

Det var først ved fremkomsten af tilstrækkelig digital regnekraft, at man kunne undersøge gravitationsloven direkte, uden først at være tvunget til at opskrive de store analytiske udtryk fra den traditionelle celest mekanik. De første spæde beregninger af planeterne baner blev foretaget omkring 1980'erne, hvor man beregnede banerne over perioder af nogle millioner år. Selv dette er dog en ikke-triviell opgave, da de ydre planeter bevæger sig meget langsomt, mens Merkur løber igennem sin bane utroligt hurtigt. Når man regner direkte på den newtonske gravitationslov er systemet

derfor forholdsvis inhomogent, hvilket vanskeliggør, ja nærmest umuliggør, beregningerne for de lange tidsperioder man har brug for, for at kunne følge planetbanerne, og afgøre om Solsystemet er stabilt.

Gennembruddet kom i 1989, som følge af et særdeles usædvanligt arbejde udført af Jacques Laskar. Laskar anvendte en kombination af de klassiske rækkeudviklinger og computerkraft. Først udviklede han et computerprogram der kunne hjælpe ham med at håndtere de store udtryk. Han brugte dette program på Solen og planeterne i Solsystemet (undtagen Pluto), og opskrev ligningerne for variationerne i baneelementerne, heriblandt eccentriciteterne og inklinationer, som følge af planeterne indbyrdes vekselvirkninger.

Resultatet af dette var et overordentligt stort ligningssystem, som passende kunne anvendes til at beskrive planeterne bevægelser. Fordelen ved dette system er, at man i stedet for at beregne planeterne positioner i deres baner, ser på variationerne af formerne af banerne. Således har dette vældige ligningssystem, på trods af den uhyre kompleksitet, en homogen struktur, og kan fodres ind i en computer, der kan fortælle noget om, hvordan Solsystemet ændrer sig dynamisk over perioder på millioner, ja endog milliarder, af år.

Den første konklusion på dette arbejde blev præsenteret i en beskeden artikel i Nature i 1989, hvor Laskar kunne berette, at Solsystemet er overordentligt kaotisk, i forhold til dets forventede levetid.

Dette illustreres meget fornemt af hans anden konklusion fra 1994, nemlig at det ved en udvalgt serie af beregninger lykkedes at smide Merkur ud af Solsystemet. Man skal dog være forsigtig med at konkludere noget direkte ud fra disse beregninger, for systemets kaotiske natur tillader ikke nogen direkte konklusion på stabilitetsproblemet.

Hvor man i tiden efter Newton, med højdepunktet i Lagranges og Laplaces arbejde, forventede at Newtons gravitationslov rummede svaret på alt vedrørende ting der bevægede sig, har man siden fremlæggelsen af KAM teorien og ideen om kaos, taget udgangspunkt i netop den kaotiske natur af systemerne. Laskars arbejde er revolutionerende, i og med man med dette arbejde har fået en håndfast demonstration af Solsystemets kaotiske natur. Stabilitetsproblemet er således blot en del af det overordnede aspekt af dynamikken af planeterne i Solsystemet. Om Solsystemet er stabilt eller ej er ikke noget man skal forvente at få et direkte svar på, problemet i dets oprindelige formulering hører groft sagt til Laplaces og Lagranges tid. Til gengæld har den menneskelige forståelse af Newtons gravitationslov taget endnu et stort skridt fremad.

En renaissance inden for den celest mekanik ses netop for tiden, hvor man med stor energi, med den nye forståelse i ryggen, studerer dynamikken af asteroider og kometer. Ikke mindst de såkaldte "Near-Earth Objects", NEO'er, har stor bevågenhed, da de er objekter som udgør en potentiel risiko for at kolliderer med Jor-

den. Disse småplaneter udviser en lang række interessante dynamiske egenskaber, der skyldes deres små masser, og deres baner, som bl.a. går på tværs af Sol-systemets store planeter.

Perspektiv

Den fornyede interesse for dynamiske problemer i Sol-systemet gør det ekstra interessant at forsøge at se udviklingen lidt fra oven. Man kan ofte gribe sig selv i at overse Newtons gravitationslov, hele den udvikling den har medført, og den fundamentale fysik der ligger i den. Men jeg synes at man af og til skylder sig selv, og ikke mindst Newton og hele den celeste mekanik, at tænke lidt tilbage på hvordan det hele startede, på den enorme udvikling der har fundet sted, og på de imponerende resultater og fundamentale erkendelser man har opnået, ikke mindst i vores egen tid.

Hvis man gik og troede at newtonsk gravitation var en simpel sag, og et hurtigt overstået kapitel, håber jeg hermed at have vist det modsatte.

Referencer:

- [1] Jeff A. Suzuki (1996) "A history of the stability problem in celestial mechanics from Newton to Laplace (1642-1787)", PhD afhandling, Boston University.
- [2] W. M. Smart (1947) "John Couch Adams and the discovery of Neptune", Royal Astronomical Society.
- [3] R. Michelsen (1996) "Kaos i Solsystemet", Gamma nr. 103.
- [4] R. Michelsen (1998) "C.-E. Delaunay og hans måneteor", Gamma nr. 109.

- [5] R. Michelsen (1999) "En ny metode til analyse af Jord-Måne-Sol systemet", Gamma nr. 113.
- [6] H. Poincaré (1892, 1893, 1899) "Les Méthodes Nouvelles de la Mécanique Céleste", Gauthier-Villars.
- [7] C. E. Delaunay (1860) "Théorie du mouvement de la Lune, premier volume, Mallet-Bachelier, Paris, se også Mémoires de l'Académie des Sciences, Tôme XXVIII.
- [8] C. E. Delaunay (1867) "Théorie du mouvement de la Lune", deuxième volume, Gauthier-Villars, Paris, se også Mémoires de l'Académie des Sciences, Tôme XXIX.
- [9] J. Laskar (1989) "A numerical experiment on the chaotic behaviour of the solar system", Nature, bind 338, side 237-238.
- [10] J. Laskar (1994) "Large-scale chaos in the solar system", Astron. Astrophys., bind 287, side L9-L12.
- [11] Billedet af Clairaut er fra St. Andrews, www-groups.dcs.st-and.ac.uk/XXXXXXhistory/Mathematicians/Clairaut.html



René Michelsen, er Ph.D. studerende ved Astronomisk Observatorium, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.

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)



Efterårsprogram i SNU

Efterårets mødeprogram har "Modellering" som gennemgående tema – taget i bred forstand:

Mandag, den 30. oktober:

Virksomhedsbesøg med modelleringstema.

Tid og sted annonceres senere.

Mandag, den 20. november kl. 19.30:

Foredrag om grundvandsmodellering.

v/Lektor Ole Larsen, Geologisk Museum.

Foredraget holdes på Geologisk Museum.

Mandag, den 11. december kl. 19.30:

Solsystemets opståen

v/Lektor Jens Martin Knudsen, Ørsted Laboratoriet.

Foredraget holdes på H.C. Ørsted Instituttet.

Alle er velkomne til selskabets foredrag. Forespørgsler angående møderne kan rettes til Bente Egaa, UNI-C, tlf. 35 87 88 04 eller e-mail: bente.egaa@uni-c.dk. Eventuelle ændringer i programmet kan læses på SNUs hjemmeside: www.snu.nbi.dk

Nyt fra Astronomisk Selskab

Astronomisk Selskab

Hjemmeside: AS.dsri.dk

Michael Quaade (formand)
Hviddingvej 48
2610 Rødovre

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

Hans Sørensen (kasserer)
Stavnsholtvej 22
3520 Farum

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



Rejse til den totale solformørkelse i Afrika i 2001

Torsdag den 21. juni næste år finder der en total solformørkelse sted på den sydlige halvkugle.

Astronomisk Selskab arrangerer en rejse til det sydlige Afrika. Selve solformørkelsen vil vi opleve enten fra Zambia eller Zimbabwe. Udgangspunktet for turen til være Sydafrika hvor vi vil besøge forskellige seværdigheder. Det vil f.eks. være naturligt at snuse til landets apartheid historie samt besøge en vingård.

Prisen for rejsen vil være i størrelsesordenen 20.000 kr. for en tur på en varighed af ca. 2 uger. Interesserede kan henvende sig til Knud Strandbæk på tlf. 76 31 10 00 (aften) eller E-mail: sir.eclipse@europe.com.

Foredrag på Orion Planetarium

I efteråret arrangeres fire foredrag om astronomi på Orion Planetarium i Jels, Sønderjylland.

12/10: *Tåger og gasskyer*

v/ Planetarieleder Lars Petersen, Orion Planetarium.

26/10: *Røntgenastronomi, neutronstjerner og sorte huller*

v/ stud. scient. Niels Bassler, Aarhus Universitet.

9/11: *Kugleformede hobe og Universets alder*

v/ ph.d. Frank Grundahl, Aarhus Universitet.

23/11. *At tælle tiden - tidsregning og tidsmåling gen-*

nem tiderne

v/ museumsdirektør, dr. phil. Kr. P. Moesgaard, Steno Museet.

Tid og sted: Kl. 19.30 på Orion Planetarium, Søvej 36, Jels. Tlf.: 74 55 24 00. Medlemmer af Astronomisk Selskab har gratis adgang.

Også i København og Århus har Astronomisk Selskab arrangeret en foredragserie, hvis tema i efteråret er "Rumteleskopet Hubble". De kommende foredrag er:

Mandag, den 23. oktober

Frank Grunddahl, Institut for Astronomi og Fysik, Aarhus Universitet: "Kugleformede stjerneho- be".

Mandag, den 13. november

Holger Pedersen, Astronomisk Observatorium, Københavns Universitet: "De mystiske gammaglimt".

Mandag, den 4. december

Bjarne Thomsen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet: "Studier af Universets oprindelse med et nyt rumteleskop".

Tid og sted: Kl. 19.15 i Store Auditorium i Rockefeller Komplekset, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø.

Foredragsserien gentages i Århus:

Mandag, den 30. oktober

Frank Grunddahl, Institut for Astronomi og Fysik, Aarhus Universitet: "Kugleformede stjerneho- be".

Mandag, den 20. november

Holger Pedersen, Astronomisk Observatorium, Københavns Universitet: "De mystiske gammaglimt".

Mandag, den 11. december

Bjarne Thomsen, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet: "Studier af Universets oprindelse med et nyt rumteleskop".

Tid og sted: Kl. 19.15 på Matematisk Institut, Aarhus Universitet, Ny Munkegade, Bygning 530, 8000 Aarhus C.

Der er gratis adgang for medlemmer af Astronomisk Selskab og Tycho Brahe Planetarium, tilmelding er ikke nødvendig. Man kan også melde sig gennem Folkeuniversitetet. Eventuelle ændringer i foredragsprogrammet kan ses på vores hjemmeside: AS.dsri.dk/foredragE2000.html.

KVANT flytter

KVANT har i mange år haft husly i kælderen under Ørsted Laboratoriet, hvor lageret af bladets tidligere udgaver blev opbevaret. Desværre var det nødvendigt at inddrage lokalet til frysehus for iskerner, så KVANT har nu fået nyt hjemsted hos Center for Jordens Klima

og Biogeokemiske Kredsløb. I den forbindelse er der foretaget en oprydning i lageret, således at der fremover kun gemmes et mindre antal af hvert nummer. Det er dog fortsat muligt at efterbestille enkelt-eksemplarer af de fleste ældre numre af bladet, mens flere af de nyeste numre også kan leveres i klassesæt. Henvendelse kan ske til kvant@nbi.dk.

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
E-mail: ole.bakander@post.tele.dk

Henrik Bruus (næstformand)
E-mail: bruus@nbi.dk

Karsten W. Jacobsen
E-mail: Karsten.W.Jacobsen@fysik.dtu.dk

Ole Mouritsen
E-mail: ogm@fki.dtu.dk

Erik Horsdal Pedersen (kasserer)
E-mail: horsdal@ifa.au.dk

Jens Juul Rasmussen
E-mail: jens.juul.rasmussen@risoe.dk

Poul V. Thomsen
E-mail: pvt@ifa.au.dk



DFS årsmøde 2000

Dansk Fysisk Selskabs årsmøde på Hotel Nyborg Strand 8.–9. juni 2000 levede fuldt ud op til den gennem årene opbyggede tradition for et livligt møde med gode faglige diskussioner og mere uformelle gensyn med gamle studiekammerater. Der var ca. 225 deltagere i mødet, hvor der blev præsenteret omkring 70 poster og 35 timers foredrag. Udover sessioner dedikeret til fast-stoffysik, atomfysik, astronomi/astrofysik, fagdidaktik samt geofysik var der som noget nyt i år også en session i kerne og højenergifysik. Årsmødet gav således en god mulighed for at få et bredt indtryk af dansk fysik her og nu. Til arrangørernes store tilfredshed var antallet af deltagende Ph.D.- og specialestuderende stort og i stigning. En plenumtaler fra det store udland gav således udtryk for stor forbavselse over de mange unge ansigter – han var vant til nationale fysikmøder med dominans af grå hår og rynker. Årsmødets 6 plenarforedrag var af høj kvalitet og spændte fra materialefysisk anvendelse af kvantemekanik over krystaltilstande i et ionplasma til honningbiernes kommunikation via dans.

30 medlemmer af sektionen "Kvinder i Fysik" (KIF) tyvstartede årsmødet allerede onsdag 7. juni. Det syvende KIF årsmøde havde et tæt pakket program med præsentation af spændende Ph.D. arbejde, diskussion af undervisningskultur i de naturvidenskabelige

uddannelser, foredrag og diskussion ved en af forfatterne bag den meget omtalte svenske undersøgelse om nepotisme og sexismen i peer-review systemet samt et selvbiografisk tilbageblik over en lang karriere i astronomi ved Vera Rubin. Efter en usædvanlig fredelig generalforsamling havde restaurant "Østervemb" i Nyborg lejlighed til at vise sin gastronomiske formåen – hanekylling farseret med rejer og serveret med nye danske kartofler og rabarber kompot.

Generalforsamling i Dansk Fysisk Selskab

DFS's generalforsamling blev afholdt i forbindelse med årsmødet fredag 9. juni. Regnskabet for 1999 blev fremlagt af Nis Bjerre og kan læses på DFS's hjemmeside (under årsmøde/generalforsamling). Der er for 1999 et underskud på 36.500 kr, således at selskabets formue nu er 202.500 kr. Nis Bjerre har fratrådt posten som kasserer og blev takket for sit arbejde for foreningen og en flaske vin blev overrakt. Nis Bjerre takkede på foreningens vegne Adda Larsen for hendes mangeårige arbejde med DFS's regnskab. Traditionen tro forbliver posten som kasserer og forretningsfører i Århus, hvor Erik Horsdal Pedersen og Anette Skovgaard tager over. Efter den afgående formands beretning (Der er aftrykt i Kvant nr. 3 (2000) side 22–23) fik også Jens Olaf Pepke Pedersen overrakt en flaske vin samt tak for sit arbejde for DFS. Generalforsamlingens afsluttende højdepunkt var uddeling af posterpriser. Posterpriskomiteen fremhævede, at en grafisk veltuneret poster ikke gør det alene – det er vigtigt at den, der præsenterer posteren er at finde i nærheden af sit arbejde og er rede til at give en entusiastisk uddybning af arbejdet. Belønnet blev Martin Robert Knudsen fra Aarhus Universitet for posteren AA32P: "Measuring stellar oscillations in equivalent form", John Erland, COM, DTU for posteren FF50P (sammen med Vygantas Mizeikis, Jacob R. Jensen, Jørn M. Hvam og Niels Asger Mortensen): "Stimulated emission from microcavity polaritons" samt Jesper Nygård fra Ørsted Laboratoriet (sammen med P. R. Poulsen, D. Cobden, J. Borggren og P. E. Lindelof) for posteren FF43P: "Carbon nanotube electronics".

Udstillere

På årsmødet udstillede Aage Christensen A/S, Hamamatsu Photonics Denmark, Müller+Sørensen Aps, Pfeiffer-Vacuum og Texas Instruments. Links til disse firmaer kan findes på DFS's hjemmeside under "produktinformation".

Årsmøde 2001

DFS årsmøde 2001 finder sted 31. maj–1. juni på Hotel Nyborg Strand.

Nyt fra Dansk Geofysisk Forening

Dansk Geofysisk Forening

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

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

Henning Haack
E-mail: hh@savik.geomus.ku.dk

Kristian Keller
E-mail: krk@kms.dk

Anders Svensson
E-mail: as@gfy.ku.dk

Dansk Geofysisk Forening

Dansk Geofysisk Forening (DGF) blev stiftet i 1936. Ifølge lovene for DGF har foreningen til formål *“at give danske geofysikere lejlighed til at drøfte videnskabelige og faglige spørgsmål. Dette søges opnået ved afholdelse af møder, hvor der i foredrags- eller diskussionsform behandles geofysiske emner, fortrinsvis sådanne, der har berøring med flere grene af geofysikken. Foreningen har desuden til opgave at virke for udbredelsen af kendskab til geofysik.”*

I dag er DGFs aktiviteter ca. tre møder halvårligt, med foredrag spændende meget vidt, f.eks. fra “vin og geologi” til den nyeste information omkring Grønlands is. Ved møderne, der som regel afholdes på Geofysisk Afdeling, Københavns Universitet, Juliane Maries Vej 30, holdes endvidere medlemmernes netværk ved lige over en kop øl eller vand (evt. gløgg).

Programmet for efteråret 2000 omfatter en foredragsrække, hvor det første foredrag holdes torsdag den 26. oktober kl. 16.15. Her fortæller Henning Haack fra Geologisk Museum på KU om “Meteoriteftersøgning på Antarktis og Grønland”.

Torsdag den 16. november kl. 19.30 afholdes et foredrag af Kresten Breddam fra Dansk Lithosphere Center om “Rejsen til og fra Jordens indre: Den islandske kappediapirs geofysik og kemi”.

Det kan også afsløres, at julemødets foredragsholder er Jan Heinemeyer, Aarhus Universitet. Emnet er “Atomacceleratorer, ¹⁴C-datering, havkerner, klimaændringer og grønlandske vikinger”, og mødet afholdes tirsdag den 5. december kl. 19, hvor der serveres gløgg til. Alle foredrag afholdes på Juliane Maries Vej 30 i København.

Referat fra DGFs generalforsamling den 2. maj 2000 af Kristian Keller

1. Aksel Walløe Hansen blev valgt til dirigent. Aksel

fandt generalforsamlingen rettidigt indkaldt.

2. Irene A. Mogensen konstaterede i sin formandsberetning, at bestyrelsens strammere kurs overfor ikke-betalende medlemmer havde reduceret medlemstallet til 117. P.g.a. lav tilslutning til DGFs foredrag i den sidste periode vil DGF nedtrappe antallet af møder til 2-3 pr. semester (der var 5 foredrag i efteråret). Til gengæld vil DGF gøre opmærksom på, at vi kan bruges som “annonceringsorgan” af møder og foredrag som afholdes på medlemmernes arbejdspladser. Irene gjorde opmærksom på, at alle betalende medlemmer af DGF automatisk er medlem af European Geophysical Society (EGS), selvom EGS i år havde været sløve med udsendelsen af medlemskort.

Bestyrelsen havde i år besluttet at stå uden for Dansk Fysisk Selskabs møde i Nyborg p.g.a. af manglende interesse fra geofysikere. Ved sidste Nyborgmøde var der faktisk fire geofysiske foredrag, og der blev holdt en geofysisk session. DGFs rejsefonds kapital er blevet brugt, men foreningen er blevet begavet med kr. 60.000.- af Prof. Sharma til forsættelse af foreningens støtte til studerendes rejseaktiviteter. I denne forbindelse er der blevet nedskrevet retningslinier for uddelingen af legatet. På DGFs vegne takkede Irene Prof. Sharma for legatpuljen.

Til sidst takkede Irene for godt samarbejde i bestyrelsen. Endvidere gjorde Irene rede for de to af bestyrelsen fremsatte forslag – se nedenfor.

Den afgående formand blev takket af forsamlingen og beretningen blev godkendt med stor applaus.

Desuden blev det forslået at afholde en slags geofysikdag, hvor medlemmer kort kunne præsentere deres arbejde for andre geofysikere, f.eks. kunne postere fra det årlige EGS-møde genbruges. Dette er dog op til den nye bestyrelse.

3. Foreningens regnskab blev godkendt med et mindre underskud på kr. 537 og en balance på kr. 18.768. Rejsefondens balance var på kr. 61.373.

4. Til den nye bestyrelse blev Anders Svensson og Kristian Keller genvalgt og Henning Haack, kurator for meteoritsamlingen, Geologisk Museum modtog nyvalg. Der er dog stadig en ledig plads i bestyrelsen.

5. C. C. Tscherning blev genvalgt som revisor.

6. De af bestyrelsen fremsatte forslag blev begge vedtaget. Det ene drejede sig om en ændring af regnskabsåret m.m. således at det følger kalenderåret. Det andet forslag var et fast medlemsabonnement på tidsskriftet Kvant, som indebærer at kontingentet stiger til kr. 225.- (kr. 175.- for studerende).

7. Under evt. blev Irene endnu en gang takket for sit store arbejde som formand. Aksel Walløe Hansen sluttede mødet med at takke for god ro og orden. Dernæst gik ordet til Niels Reeh der afholdte et meget interessant foredrag om massebalancen for nogle af Grønlands gletschere.

KVANT-nyheder

Redigeret af Michael Cramer Andersen

Kvark-gluon plasma studeres på RHIC

Kernekysikere har længe forudsagt at der ved ca. 2000 milliarder grader opstår et såkaldt *kvark-gluon plasma* hvor de enkelte nukleoner *opløses* eller smelter til deres mindre bestanddele: kvarker og gluoner. Stof med så høje kollisionsenergier menes ikke at have eksisteret siden Universet var 10^{-6} sekund.

Danske kernekysikere fra Niels Bohr Institutet er med helt i front når eksperimenter ved den amerikanske RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) skal klarlægge, om denne nye form af stoffet kan realiseres. De hidtil højeste kollisionsenergier mellem atomkerner blev frembragt i juni med energier der er 8 gange højere end ved CERN's SPS accelerator.

RHIC-acceleratorkomplekset ved Brookhaven National Laboratory består af to cirkulære accelerators på hver 3,8 km hvor atomkerner af guld accelereres op til ca. 99,99% af lysets hastighed. Her vejer Au-kernerne 70 gange deres hvilemasse (en af relativitetsteoriens forudsigelser). Det er takket være de to modsat rettede accelerators hver med 1740 superledende magneter, at kollisionsenergien kan blive så høj, op til 100 GeV pr. nukleon. Resultatet – som kan ses på KVANTs forside – er en byge af π -mesoner og andre partikler.

Kollisionerne foregår ved fire forsøgsstationer hvor bl.a. BRAHMS-eksperimentet har betydelig dansk deltagelse. Nu skal BRAHMS og de øvrige tre detektorer, STAR, PHOBOS og PHENIX, måle plasmaets temperatur, energi, partikeltæthed og entropi. Temperaturen er hundrede tusinde gange højere end temperaturen i centrum af solen (15 mio. grader) og tætheden er omkring ti tusinde gange højere end tætheden i centrum af stjerner i dag.

Studiet af kvark-gluon plasma vil dels kaste mere lys over den stærke kernekraft, der virker mellem kvarker, og dels teste Big Bang teorien. I en pressemeddelelse fra Niels Bohr Institutet (*J. J. Gaardhøje*, 26. juni 2000) betegnes de nye foreløbige resultater som "et nyt stort skridt mod det lille Big Bang" og der "starter et nyt kapitel af udforskningen af stoffet".

Kilder: www.pubaf.bnl.gov/pr/BNLpr060800.html
www.aip.org/releases/2000/rhic.html.

Nye interstellare molekyler opdaget med ISO

ESA's Infrared Space Observatory (ISO) har de seneste måneder opdaget flere nye interstellare molekyler. I starten af juni offentliggjorde fire forskere, at de havde fundet methyl-radikalet CH_3 i en 17 K kold molekylesky i centrum af vores Galakse. De kunne også bestemme tætheden af gassen (der primært består af H_2) til ca. 1000 molekyler/atomer pr. cm^3 . Methyl-

radikalet har en hyppighed på $1,3 \cdot 10^{-8}$ i forhold til H_2 . Det svarer til 13 CH_3 -molekyler pr. kubikmeter. Imponerende set på en afstand af 30.000 lysår!

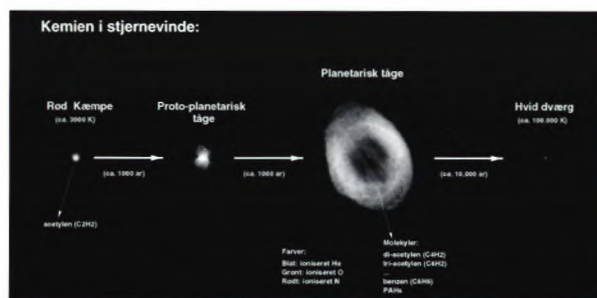
Resultatet bekræfter Gerhard Herzbergs forudsigelse af, at CH_3 -radikalet ville findes i rummet mellem stjernerne. Herzberg (1904-1999) fik nobelprisen i 1971 for sit arbejde vedrørende elektronstrukturen og geometrien af molekyler, specielt radikaler.

CH_3 blev allerede detekteret af ISO i atmosfæren på Saturn og Neptun i 1998 og 1999. Methyl-radikalet er et vigtigt trin på vejen til mere komplekse organiske molekyler og det kan derfor bruges til at spore disse. At det også findes som interstellart molekyle giver basis for en betydelig udbredelse af mere komplicerede organiske molekyler.

Kilder: www.iso.vilspa.esa.es (Press Rel. 11/7 2000); www.nobel.se/chemistry/laureates/1971 (Herzberg).

Kulstof-ringe dannes i stjernevinde

Tre amerikanske forskere har ved brug af ISO-satellitten fundet, at komplekse organiske molekyler dannes på blot få tusinde år i stjernevindene fra gamle stjerner. Når de fleste stjerner brænder ud, puster de sig op til nogle hundrede gange deres normale størrelse og køler ned til omkring 3000 K hvorved de bliver røde. Disse *røde kæmpestjerner* udsender kraftige stjernevinde som resulterer i de meget spektakulære *planetariske tåger*. Der går kun nogle få tusinde år fra stjernen er en fuldt udviklet rød kæmpe til den er endt som en hvid dværg (den udbrændte stjerne) omgivet af en planetarisk tåge der er synlig i ca. 10.000 år.



Molekyler i stjernevinde. Grafik MCA.

Forskerne optog infrarøde spektre fra stjerner på tre stadier, røde kæmper, proto-planetarikke tåger og planetariske tåger. Den kosmiske kemi der er tale om starter med acetylen, C_2H_2 , som er detekteret i røde kæmpestjerner. Acetylen fungerer som byggesten for bl.a. di-acetylen, C_4H_2 , tri-acetylen, C_6H_2 og benzen, C_6H_6 , samt mere komplicerede aromatiske kulbrinter som er detekteret i planetariske tåger. Spek-

trene indeholder desuden mange linjer der endnu ikke er identificerede. Benzen er et eksempel på en simpel aromatisk kulstof-ring idet de seks kulstofatomer danner en sekskant med et C og et H i hvert hjørne. Har man mere end én ring kalder man det under ét PAH (Polycykliske Aromatiske Hydrocarboner). Det er nu klart, at disse ret avancerede molekyler trin for trin kan dannes i stjernevindene hvor temperaturen er faldende og tætheden stadig er forholdsvis høj. Men én af forskerne, *Sun Kwok*, er meget overrasket over, at de kemiske reaktioner forløber så effektivt ved de lave tætheder.

Kilde: ISO, www.iso.vilspa.esa.es (Press Releases 17/1 og 20/1 2000)

Rumstationen klar til bemanning

Det russiske Zvezda-beboelsesmodul på 21 tons blev opsendt med en proton-raket den 13. juli og sammenkoblet den 25. juli. Den første besætning på tre mand opsendes til den Internationale Rumstation (ISS) i november. Rumstationen er ved at indhente Mir i størrelse.

Kilde: ISS, www.ing.dk/tema/iss/index.html

To danske raketter dyster om \$ 1/4 mio.

Danish Space Challenge (DSC) gør klar til opsendelse

af raketten "Northstar" i 200 km højde. De har skarp konkurrence af en jysk amatørrocketklub som vil sende "XX" op. Begge hold er med i en international konkurrence om at sende en amatørbygget raket op i 200 km højde inden 8. november 2000. Førsteprisen er 250.000 dollars.

Kilde: Danske raketter, www.ing.dk/tema/raket
DSC, www.mainstage.dk/spacechallenge

Fra vores egen verden

KVANTs redaktør, Jens Olaf Pepke Pedersen, har modtaget KU's naturvidenskabelige fakultets formidlingspris 2000.

Rettelse

I sidste nummer af Kvant (nr. 2/2000) stod der under nyheden om "Forbedret Transmissionselektronmikroskop" at "Elektronmikroskopet kan også lægge rækker af atomer med en afstand på kun en halv Ångström". Der skulle have stået "... skelne rækker (eller lag) af atomer". Et elektronmikroskop kan ikke flytte rundt på enkeltatomer. Tak til *Hans Henrik Andersen*, Ørsted Laboratoriet, for påpegelsen af fejlen.

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

Breddeopgave nr. 2 og 3

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter.

Breddeopgave nr. 2

I juni-nummeret af Kvant bragte vi Breddeopgave nr. 2: *Hvad er temperaturen i en gnistudladning eller et lyn?*

"Løsningen"¹ til opgaven findes ved at bemærke, at i gnistudladningen eller lynet er mange af luftmolekylerne åbenbart anslået således at de ved henfald udsender synligt lys. Anslagene skyldes deres indbyrdes sammenstød. Da anslagsenergiene er af størrelsesordenen eV og $k_B T$ ved 300 K er ca. $1/40 eV$, er temperaturen i gnistudladningen eller lynet størrelsesordensmæssigt 40 gange 300 K, dvs. af størrelsesordenen 10.000 K.

Kommentar

Fænomenerne er dybt komplicerede og næppe forstået til bunds. Alligevel giver overslaget en vis mening. Det er vel rigtigere at knytte temperaturen 10.000 K til dem end f.eks. 1.000 K eller 100.000 K?

Breddekurset på RUC dækker som navnet udsiger

fysik i bredden. Derfor er det muligt som her at stille eksamensopgaver, hvis løsning kræver kombination af normalt separat behandlede dele af fysikken. Hjælpemidler er ikke tilladte ved eksamen. Løsningen af opgaven forudsætter derfor også, at man har nogle fysiske nøgletal present.

Se i øvrigt Henrik Leths artikel om lyn i Kvant, bind 9, nr. 4 (december 1998), side 34, og Thomas Højgaard Allins artikel om feer og elver på nattehimlen i dette nummer side 3.

Breddeopgave nr. 3

Denne tredie opgave er af ældre dato og stammer fra en eksamen på RUC i januar 1986. Jeg trækker den bl.a. frem, fordi den spillede en lidt pudsig rolle, da vi på RUC havde besøg af evalueringspanelet ved fysikuddannelsesevalueringen i 1998. Opgaven lyder:

Hvor hurtigt roterer en tørretumbler? Begrund svaret.

"Løsning" og kommentar findes side 30.

¹"Løsning" er sat i gåseøjne, fordi der ifølge breddeopgavernes karakter ikke altid findes bestemte, entydige og autoriserede svar på dem.

Fysiksommerskolen Kopernikursus 2000

Hvad er Kopernikursus?

Kopernikursus er en fysiksommerskole der retter sig mod gymnasieelever, der lige har afsluttet 2.g, og lærerseminarstuderende der skal til at undervise i fysik. Kurset blev afholdt på Rødding Højskole i Sønderjylland [1]. Det er en videreførelse af det traditionsrige *Sorødag* som har været afholdt på Sorø Akademi 1988-1999 [2]. Det er første gang at der var deltagelse af lærerseminarstuderende.

Hvad foregik der på kurset?

En typisk dag på Kopernikursus forløb efter opskriften: morgenmad kl. 8.00; morgensamling med en åndrig tale og en salme til at starte dagen kl. 8.30; tre foredrag om forskellige emner indenfor fysik indtil frokost kl. 12.00. I frokostpauserne blev der spillet fodbold, billiard, diskuteret fysik eller andet. Eftermiddagene var besat med aktiviteter fra 14-18 kun afbrudt af en kort pause til kaffe, te og kage. Om aftenen var der et "Stjerneforedrag", gerne af mere underholdende karakter.

Til aktiviteterne kunne man f.eks. vælge at måle "Magnetfelter i rummet", spille det pædagogiske spil om kvantemekanik "FOTON" (se KVANT, december 1994 [3]), diskutere "Didaktik i naturvidenskaben", eller måle på "Interferometri og laserlys". Andre valgte at bygge "Selvstyrende biler med LEGO Mindstorms", bestemme lokaliteten af "Jordskælv" ud fra seismiske data eller blande ingredienser som tøris, støv, og organiske stoffer sammen i aktiviteten "Byg en komet". Model-kometerne blev udsat for lidt af hvert: en hårtørrer gjorde det ud for solvinden og et par kometter blev kastet i vandet til stor forskrækkelse for dem der var fordybet i at spille FOTON indenfor. Fordampningen af tøris-kometen under vand lignede en rigtig komet ganske godt.



Figur 1. Efter sit foredrag fortalte Jens Martin, at "Hvis etisk råd havde eksisteret da man byggede huse og skibe af egetræer med økser som denne, så var den blevet forbudt!"

Jens Martin Knudsen, der har en formidlingsevne og en kærlighed til faget fysik som man skal lede

længe efter, holdt foredrag om "Universets udvikling og dampmaskinen".

Ben Mottelson gav en meget teoretisk gennemgang af "Rotationer", Peter Sigmund (assisteret af Hartmann) talte om "Violinens fysik" og underholdt bagefter med pianospil assisteret af Alfkiil på violin. Carl Th. Pedersen afslørede "Hvorfor er rødvin rød?" og endelig talte Jens Chr. Skou om "Na-K pumpen". De lokale medier var overrasket over hvad der havde bragt to af landets nobelpristagere (Mottelson og Skou) til en lille by som Rødding. Svaret var en gruppe meget fysikinteresserede gymnasieelever.



Figur 2. Efter Fysikshow fra Århus var der mange nysgerrige spørgsmålsstillere.

Ekskursioner

Hele kurset var på ekskursion til Danfoss, hvor vi hørte to opfindere fortælle om hvordan de omsatte naturvidenskabelige idéer til nye produkter. Vi så også Danfoss Museet og "Teknorama", et slags experimentarium, dette besøg inkluderede en fornem frokost. Orion Planetariet i Jels dannede rammerne om en stjerneforestilling samt observationer af dobbeltstjerner m.m.

De institutioner der har ydet økonomisk støtte, og uden hvilke Kopernikursus ikke havde været muligt, er: Danfoss, Industriens Arbejdsgivere, Københavns Universitet, Aarhus Universitet, Syddansk Universitet og Danmarks Tekniske Universitet.

Teamet bag Kopernikursus 2000 håber på at vende tilbage med et lige så spændende fysiksommerkursus næste år!

Michael Cramer Andersen

Referencer:

- [1] Kopernikursus, www.kopernikursus.dk
- [2] Sorødag, www.soroedage.dk
- [3] Lene B. Oddershede, Rune H. Jacobsen, Kim Lefmann og Nina B. Toft: "FOTON – et optisk spil", KVANT nr. 4 december 1994.

Velkommen til Dansk Geofysisk Forening

Jens Olaf Pepke Pedersen, redaktør af KVANT.

For et år siden besluttede Astronomisk Selskab at gå ind i udgivelsen af KVANT, og vi har siden fået mange positive reaktioner herpå fra såvel gamle som nye læsere. Det har også styrket KVANTs profil overfor gymnasiet, hvor vi kan mærke en stigende interesse for bladet. I den forbindelse glæder jeg mig over, at vi igen i år har kunnet udsende bladet til alle landets gymnasier, HF-kurser, tekniske skoler og seminarier, takket være en støtte fra fysik/astronomi-institutterne i Odense, København, Aalborg og Århus, samt ved Danmarks Tekniske Universitet.

Fra dette nummer af KVANT kan jeg byde velkommen til endnu ny gruppe læsere, nemlig medlemmerne af Dansk Geofysisk Forening (DGF), som på deres generalforsamling i maj besluttede at adoptere KVANT som medlemsblad. På side 24 findes en nærmere præsentation af DGF og foreningens aktiviteter i efteråret.

De seneste års læsere af KVANT vil vide, at vi (i forhold til bladets begrænsede sidetal) allerede har dækket geofysikken ganske grundigt med artikler om f.eks. jordens magnetfelt set fra rummet, geomagnetisk variation, vandkvalitet i Kattegat, havets cirkulation, klimaets fysik samt flere artikler om is på Grønland og endda på Mars. Som en velkomst til de nye læsere er der også i dette nummer af KVANT spændende geofysiske artikler om sprites (side 3), atmosfærens struktur (side 9) og seismiske undersøgelser (side 31).

Tidsskrift for astronomi, fysik og geofysik?

På DGF's generalforsamling blev der spurgt, om KVANTs undertitel "Tidsskrift for Fysik og Astronomi" kunne udvides til at omfatte geofysik. I betragtning af, at det er mindre end et år siden, at

KVANT ændrede sin undertitel, vil jeg gerne gå lidt forsigtigt frem, så det ikke bliver en årligt tilbagevendende begivenhed, og jeg vil i stedet opfordre læserne til at bidrage med gode forslag til en dækkende og langtidsholdbar undertitel. Forslagene kan sendes til kvant@nbi.dk.

Der var også ønske om, at foreningerne kunne få en bestemt side i KVANT til deres meddelelser. Det vil imidlertid give unødigt store problemer med opsætningen af bladet, idet vi så vidt muligt ønsker, at artiklerne i bladet skal bringes på fortløbende sider. I et normalt nummer af KVANT er der endvidere kun farvetryk på 8 sider, og derfor bliver artikler med farveillustrationer så vidt muligt bragt på disse sider. På grund af tryksteknikken er der heller ikke frit valg med hensyn til hvilke sider, der er farver på, og det kan være forklaringen på, at figurerne ikke altid er placeret direkte ved den tilhørende tekst. Når økonomien tillader det, udvider vi gerne antallet af sider med farvetryk, og det har der heldigvis også været råd til tre gange indenfor de sidste to år. Et vigtigt bidrag til bladets drift har tidligere været annoncer, og der er for tiden god plads til flere annoncer i bladet. Jeg vil derfor også opfordre læserne til at henvende sig, hvis de kender potentielle annoncører. I den forbindelse kan jeg bemærke, at bladets oplag de seneste to år næsten er fordoblet fra 1.500 til nu 2.750.

Nyt redaktionsmedlem

Jeg kan også byde velkommen til et nyt redaktionsmedlem, idet Svend E. Rugh fremover vil bidrage til bladet. Svend E. Rugh er Ph.D. fra Niels Bohr Institutet har i en 5-årig periode været et meget aktivt medlem af Gammas redaktion.

Pris for markante synspunkter

Dansk Universitetspolitisk Forum (DUPF) har uddelt sin pris for 2000 til direktør Jens Rostrup-Nielsen fra Haldor Topsøe A/S som påskønnelse af hans indsats for fri forskning og selvstændige kandidater. I motivationen siger DUPF, at i en tid, hvor universiteter og andre højere læreanstalter er under stadigt pres for at levere forskning og kandidater med en profil, der følger de skiftende politiske vinde og erhvervsmæssige ønsker, har Jens Rostrup-Nielsen haft mod og styrke til at argumentere for forskning, som uden detailstyring forfølger de vilde ideer med højeste kvalitet som eneste målestok, og for kandidater, hvis primære kvalitet er evnen til at tænke selvstændigt.

Annonce

Naturvidenskab/astronomi

Hvad er rigtigt og hvad er forkert? Er Jorden samlet ud af en bunke støv fra rummet eller der der en anden forklaring? Jeg har gjort en utrolig opdagelse, der vil vende op og ned på alle begreber. Jeg er selv amatør, men søger et menneske med forstand, der vil hjælpe mig med at skrive det hele ned. Henvendelse på tlf. 59 56 00 92.

Fremos Christensen, Klosterparkvej 22, nr. 6, 4400 Kalundborg.

Photonics is transforming the world we live in.

It is our commitment to provide photonics tools
that bring your ideas to light.

the Practical Application of Light

Imaging
Medicine
Forensics
Photonics
Aerospace
Metrology
Electronics
Spectroscopy
Reprographics
Biotechnology
Semiconductor
Analytical Chemistry
Materials Processing
Telecommunications

Melles Griot has supplied products that enable the practical application of light for 30 years, becoming a worldwide manufacturer and distributor of optics, lasers, opto-mechanical hardware, and instruments.

Pioneering the field of catalog sales with our industry-leading Optics Guides, today the Photonics Components division is a major OEM supplier of standard and custom optical components and advanced thin-film coatings, as well as optical tables, opto-mechanical hardware, and flexure-based nanopositioning systems.

Melles Griot Optical Systems specializes in the design and manufacture of multi-element optical systems for demanding OEM applications including semiconductor, machine vision, and reprographics.

A leader in laser technology for commercial and research applications, Laser division has expanded from multi-colored helium neon lasers into helium cadmium, air-cooled ion, semiconductor, solid-state, and frequency-stabilized lasers. Subassemblies, turnkey, and fiber optic beam delivery systems enhance these capabilities.

Complementing these capabilities, our line of laser measurement instrumentation includes power and energy meters, photodetector amplifiers, and laser beam profilers.

Working with industry, supporting research and development, partnering in OEM production — Melles Griot continues to lead the photonics industry.

We furnish the products that enable the practical application of light.

Denmark

Stenagervej 13
DK-4100 Ringsted, Denmark

Tel: 5761 5049 • FAX: 5761 6049
E-mail: dk_mellesgriot@csi.com

Sweden

(Serving Sweden, Norway, Finland, Iceland &
The Baltic States)
Box 7071, Måttbandsvägen 12
S-187 12 Täby, Sweden

Tel: (08) 6308950 • FAX: (08) 6300745
E-mail: info.nordic@mellesgriot.com

Photonics

is emerging as an important
technology for the future.
Melles Griot supplies the elements
used to **create, transform, and**
detect light for applications
as diverse as biotechnology,
telecommunications, entertainment,
and reprographics.



MELLES GRIOT

www.mellesgriot.com



A member of Barlow Scientific Group Ltd

Løsning og kommentar til Breddeopgave nr. 3 side 30

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, Roskilde Universitetscenter.

Løsningen gives i form af en udfoldning af opgaven:

En cylinder med radius R roterer med vinkel-frekvensen ω om sin akse, der er vandret i tyngdefel-tet. Tyngdeaccelerationen kaldes g . En genstand med massen m befinder sig på cylinderens inderside, hvor den tvinges med rundt i cylinderens rotation.

1) Hvor stor er normalreaktionen N fra cylinderen på genstanden, når denne befinder sig i toppunktet af sin bevægelse?

2) Hvad er den mindste vinkelfrekvens, hvor gen-standen følger med rundt i cylinderens rotation uden at være fasthæftet til den?

3) Hvor stor er den tilsvarende omløbstid, når $R = 0.5 \text{ m}$?

Således hjælpen bliver løsningen på opgaven $N = m\omega^2 R - mg$, $\omega_{\min} = (g/R)^{1/2}$ og en omløbstid på omkring et sekund for situationen, hvor tørretumbleren hverken fungerer centrifugeagtigt eller roterer så lang-somt, at tøjet alene ruller i bunden af den.

Kommentar

Ved besøget af fysikevalueringspanelet på RUC i 1998 illustrerede jeg vores breddekursus og tankerne bag det ved hjælp af tørretumbleropgaven i dens åbne og dens udfoldede formulering. Pointen var og er, at det er skridtet fra den åbne formulering "Hvor hurtigt roterer en tørretumbler?" til den udfoldede formulering anført ovenfor som "løsning", der udgør den største vanske-lighed på vejen mod et svar, hvorfor både eksamen og den forudgående undervisning handler om netop åbent formulerede opgaver af tørretumbler-typen.

I toget hjem fra RUC til København senere på dagen mødte jeg en del af panelet, der også var på vej hjem.

De havde – efter mødet med bl.a. mig og uafhængigt heraf – mødtes med nogle af de fysikstuderende og gratulerede mig med forslaget, de havde mødt. Ved samtalen med de studerende havde en af dem således tilbudt at illustrere ideen i breddekurset med et eksem-pel: Man kunne f.eks. spørge: "Hvor hurtigt roterer en tørretumbler?" ...

Pudsigheden skyldes, at jeg som et af midlerne til at tydeliggøre hensigterne med breddekurset og demon-strere kontrasten til en mere traditionel opgaveform for de studerende har lavet et sæt udfoldede og for-maliserede opgaver, der modsvarer 12 af de åbent for-mulerede breddeopgaver. Og at den første opgave i sættet er tørretumbleropgaven. Som breddeopgave står den ikke så alene, som det tilsyneladende så ud. Som omtalt tidligere i KVANT foreligger der en bred-deopgavesamling med 470 opgaver (IMFUFA Tekst nr. 370). Den kan købes for trykkeudgifterne ved henven-delse til sekretariatet, IMFUFA, RUC, Postboks 260, 4000 Roskilde.



Jens Højgaard Jensen er lektor i fysik ved IMFUFA, RUC. Han er uddannet og har haft midlertidig ansættelse ved Københavns Universitet til 1972. Har siden deltaget i opbygningen af RUC, bl.a. som dekan for det naturvidenskabelige hovedområde og prorektor. Faglig hovedinteresse i de eksakte fags didaktik og videnskabsteori.

Få dit eget abonnement på Kvant eller bliv medlem af AS, DFS, DGF eller SNU

Indmeldelse i foreningerne AS, DFS, DGF eller SNU kan ske ved at udfylde og indsende kuponen side 34. Det koster 250 kr. om året at være medlem af AS, 325 kr. om året at være medlem af DFS (dog 75 kr. for pensionister), 225 kr. om året hos DGF og 150 kr. om året at være medlem af SNU. Unge under uddannelse slipper dog med 100 kr. hos AS, 175 kr. hos DGF og 75 kr. hos DFS og SNU. Det er også muligt alene at tegne abonnement på Kvant for 135 kr. om året. Hvis du ikke vil klippe i bladet, må du gerne fotokopiere kuponen.

Hvis du mener, at du allerede har abonnement, men ikke får bladet (og derfor læser dette hos en

kollega), har du måske glemt at melde flytning (det skal meddeles postvæsenet eksplicit!) eller glemt at betale for abonnementet/kontingentet. Du opfor-dres derfor til at kontakte Lene Körner, Matematisk Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (ko-rner@math.ku.dk), tlf. 35 32 07 62, for at få opklaret sagen. Du må også gerne kontakte Lene, hvis du mod-tager flere eksemplarer af bladet.

Kvant udsendes gratis til alle landets gymnasier, HF-kurser, tekniske skoler, seminarier m.fl. Hvis du er lærer et af disse steder og din arbejdsplads ikke mod-tager Kvant opfordres du også til at kontakte Lene.

Seismiske undersøgelser af solpletter

Jesper Munk Jensen, Teoretisk Astrofysik Center, Dammarks Grundforskningsfond, og Geologisk Institut, Aarhus Universitet

I sidste nummer af KVANT beskrev Jørgen Christensen-Dalsgaard, hvorledes man ved hjælp af helioseismologi er blevet i stand til at undersøge Solens indre. Han viste resultater, der beskrev Solens indre rotation, og hvorledes ændringer i denne kunne hænge sammen med Solens magnetiske cyklus (denne artikel bliver herefter omtalt som JCD). De metoder, der blev beskrevet, brugte målinger af Solens egensvingningsfrekvenser som data. Disse datas globale natur gør det umuligt at opløse fænomener der er meget lokaliserede i Solen. I løbet af halvfemserne er der dukket flere forskellige metoder op, der gør det muligt at undersøge mere lokale fænomener såsom solpletter, konvektionsstrømme og nord-syd-gående strømme i Solens indre. Disse metoder er blevet kendt som lokal helioseismiske metoder og omfatter bl.a. helioseismisk tomografi og helioseismisk holografi [1]. Begge disse metoder gør det muligt at undersøge solpletter på helt nye måder, og kan dermed hjælpe til en bedre forståelse af disse fænomener. Solpletter er, som beskrevet i JCD, vigtige for forståelsen af Solens dynamiske indre, og kan muligvis også have en direkte indflydelse på Jordens klima. Derudover findes der andre mere voldsomme fænomener, der også stammer fra Solens magnetiske aktivitet. Nogle magnetisk aktive områder udvikler sig til voldsomme flares eller CME (Coronal Mass Ejection). Disse begivenheder kan være så voldsomme at satellitter kan gå tabt og strømforsyninger på Jorden blive påvirket. De kan også give anledning til ekstra smukt nordlys på Jorden som beskrevet af Sven Ove Thimm i sidste nummer af KVANT. Derfor er en bedre forståelse af disse fænomener og en mulig forudsigelse af dem af stor interesse.

Helioseismisk tomografi

Helioseismisk tomografi minder metodemæssigt om medicinsk tomografi, hvor man ved hjælp af forskellige målinger kan rekonstruere et snit gennem hjernen. For at kunne lave en tomografisk rekonstruktion af forholdene i Solen er det nødvendigt at være i stand til at måle løbetider for bølger, der udbreder sig i Solens indre [2]. Figur 3 i JCD viser strålebaner for forskellige lydbølger der udbreder sig i Solens indre. Løbetiderne for disse bølger kan beregnes ved at sammenligne de observerede svingningsmønstre i forskellige punkter på Solens overflade. Hvis et svingningsmønster, der er observeret i et punkt, senere gentager sig i et andet punkt, giver tidsforskydningen mellem disse to svingningsmønstre bølgens løbetid mellem de to punkter [3]. Mere præcist gøres dette ved at udregne kryds-

korrelationen mellem svingningsmønstrene som:

$$\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \tau) = \int_0^T f(\mathbf{r}_1, t) f(\mathbf{r}_2, t + \tau) dt \quad (1)$$

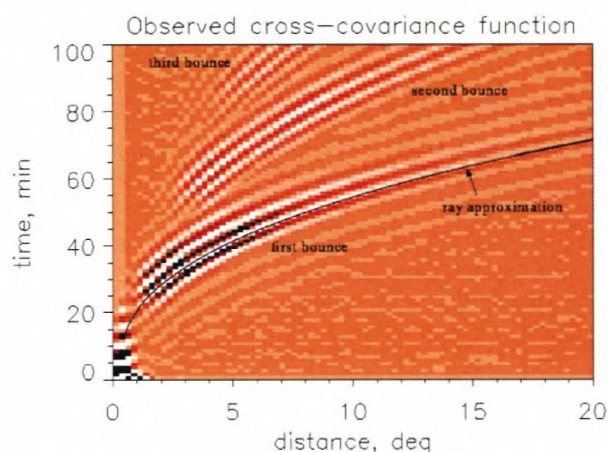
hvor $\mathbf{r}_1$ og $\mathbf{r}_2$ er to punkter på Solens overflade, $f(\mathbf{r}, t)$ er det observerede svingningsmønster i $\mathbf{r}$, t er tiden, T er den totale observationstid og τ er tidsforskydningen mellem de to signaler. Disse kryds-korrelationer giver såkaldte solseismogrammer der minder meget om de seismogrammer man kender fra målinger af jordskælv. Et eksempel på et sådant solseismogram er vist i figur 1. Dette solseismogram er beregnet ved at summere over punkter med samme indbyrdes afstand for at forbedre signal-støj forholdet. I seismogrammet ses tre rygge hvor den første svarer til den refrakterede bølge og de to næste til bølger, der er blevet reflekteret henholdsvis en og to gange ved overfladen.

Selseismogrammet i figur 1 er midlet over hele solskiven, hvilket vil sige at mere lokale strukturer er midlet væk. Seismogrammet skulle således stemme fint overens med de modeller man har for Solens indre struktur. Dette er illustreret ved at der er vist en løbetidskurve beregnet i stråleapproximationen for en standard solmodel. Denne løbetidskurve stemmer fint overens med den refrakterede bølge. Man kan ved at se på afvigelser fra denne standard løbetidskurve undersøge afvigelser fra standard solmodellen såsom strømme og anomale lydhastighedsvariationer. Ved at måle løbetidsafvigelser for bølger der bevæger sig hver sin vej langs en strålebane er det muligt at separere effekten af strømninger og lydhastighedsvariationer. Middelværdien af løbetidsafvigelserne vil kun være følsom overfor lydhastighedsvariationer, mens differencen vil være følsom over for strømninger. For middelværdien af afvigelserne fåes

$$\overline{\Delta\tau}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \frac{1}{2}(\Delta\tau^+ + \Delta\tau^-) = \int_{\Gamma_0} \frac{\delta c}{c_0^2} ds \quad (2)$$

hvor integralet er et kurveintegral langs Γ_0 , der er den strålebane der forbinder $\mathbf{r}_1$ og $\mathbf{r}_2$ i referencemodellen. Desuden er δc lydhastighedsperturbationen og c_0 er en standardmodel for lydhastigheden. Endelig er $\Delta\tau^+$ og $\Delta\tau^-$ løbetidsvariationerne for bølger der løber i modsatte retninger langs Γ_0 . Ligesom ligning (1) fra JCD er ligning (2) et eksempel på et inverst problem. Vi kender $\overline{\Delta\tau}(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ for mange forskellige konfigurationer af $\mathbf{r}_1$ og $\mathbf{r}_2$, og ønsker ud fra disse at bestemme δc . Dette kan gøres ved hjælp af såkaldte inverse metoder, der er kendte fra geofysikken. Disse metoder gør det

muligt at opstille den model, der bedst tilfredsstiller data samtidigt med, at det er en fysisk rimelig model.



Figur 1. Solseismogram der viser ankomsten af den refrakterede bølge samt bølger der er blevet reflekteret en og to gange ved overfladen (fra [4]).

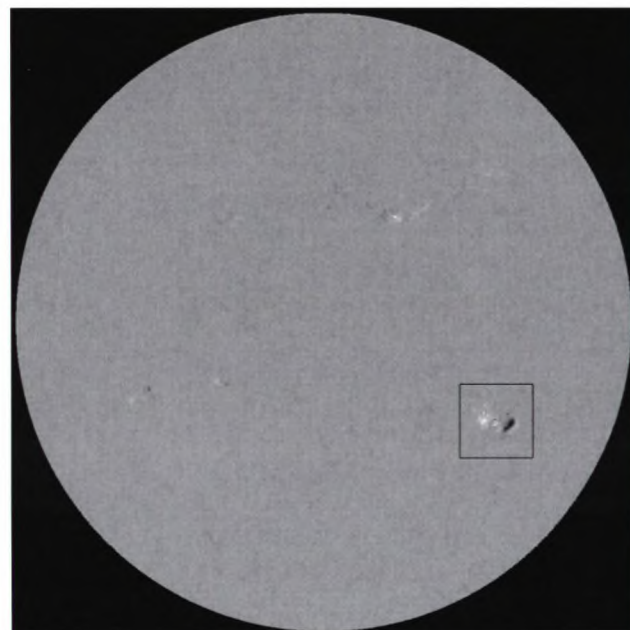
Lydshastighedsvariationer under solpletter

De ovenfor beskrevne metoder er blevet brugt til at undersøge lydshastighedsstrukturer under solpletter. Hvis der er et magnetfelt til stede i Solens indre kan vi forvente en relativ lydshastighedsvariation på

$$\frac{\delta c}{c} = \frac{B^2}{4\pi p} \quad (3)$$

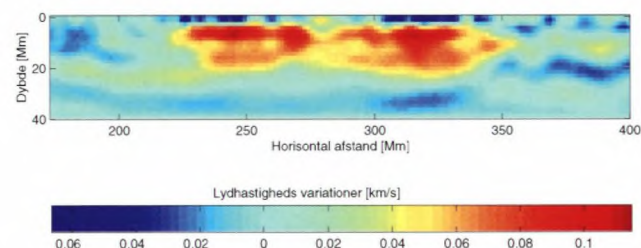
hvor B er magnetfeltstyrken og p er trykket. En solplet forventes derfor at påvirke de målte løbetider, og det er muligt ud fra lydshastighedsvariationerne at sige noget om magnetfeltet i solpletten. I figur 2 er afbildet et magnetogram der viser de aktive områder på Solen. Der ses både lyse og mørke områder, der svarer til områder med modsat magnetisk polaritet. I de lyse områder bryder magnetfeltlinierne op gennem soloverfladen, mens de i de mørke områder dykker tilbage under overfladen. Området, der er markeret i nederste højre hjørne, er et område, hvor der er målt løbetider ved hjælp af den ovenfor nævnte korrelationsmetode og 8 timers data fra SOHO satellitten. Disse løbetider er så blevet inverteret, og en del af resultatet er vist i figur 3 som et tværsnit gennem det aktive område [5].

Her ses, at der under solpletter findes lydshastighedsstrukturer, der strækker sig ned til 20.000 km under Solens overflade. Dette stemmer godt overens med at strukturerne skyldes et magnetfelt med konstant styrke. Den relative lydshastighedsvariation på grund af et sådant magnetfelt vil ifølge ligning (3) blive mindre med dybden eftersom trykket stiger. Den relative lydshastighedsvariation vil således på et tidspunkt blive for lille til at kunne observeres, selv om magnetfeltet stadig er tilstede. Forhåbentlig vil forbedringer i måle- og analyse-metoder gøre det muligt at følge magnetfelterne endnu dybere. Vi ser på figur 3 at lydshastighedsvariationerne under begge



Figur 2. Magnetogram optaget den 16 Januar 1998 med MDI instrumentet ombord på SOHO satellitten. Det aktive område, der er blevet undersøgt, er markeret med en sort kasse

solpletter er positive, selvom figur 2 viser at de har forskellig polaritet. Dette svarer til at det kun er styrken af magnetfeltet der indgår i ligning (3), mens fortegnet ikke spiller nogen rolle. Det er altså ikke muligt at opløse om feltlinierne bryder op gennem overfladen eller dykker ned igennem den. Håbet er at i fremtiden vil lignende metoder være i stand til at kunne se aktive regioner, inden de dukker op til overfladen og det vil så være muligt at kunne advare mod kraftige udbrud fra Solen i bedre tid.

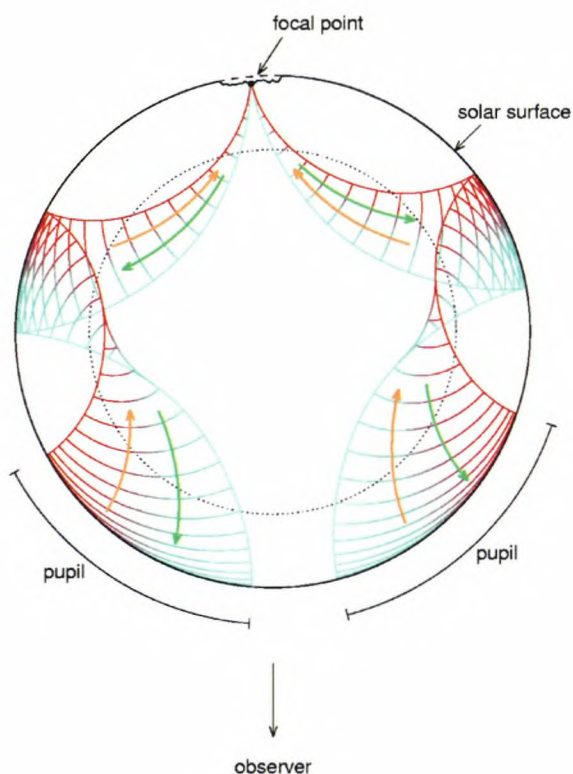


Figur 3. Tværsnit ved konstant breddegrad gennem det aktive område, der er markeret i figur 2. Afstande er i Megameter og farvekoden viser lydshastighedsvariationer i km/sek.

Helioseismisk holografi

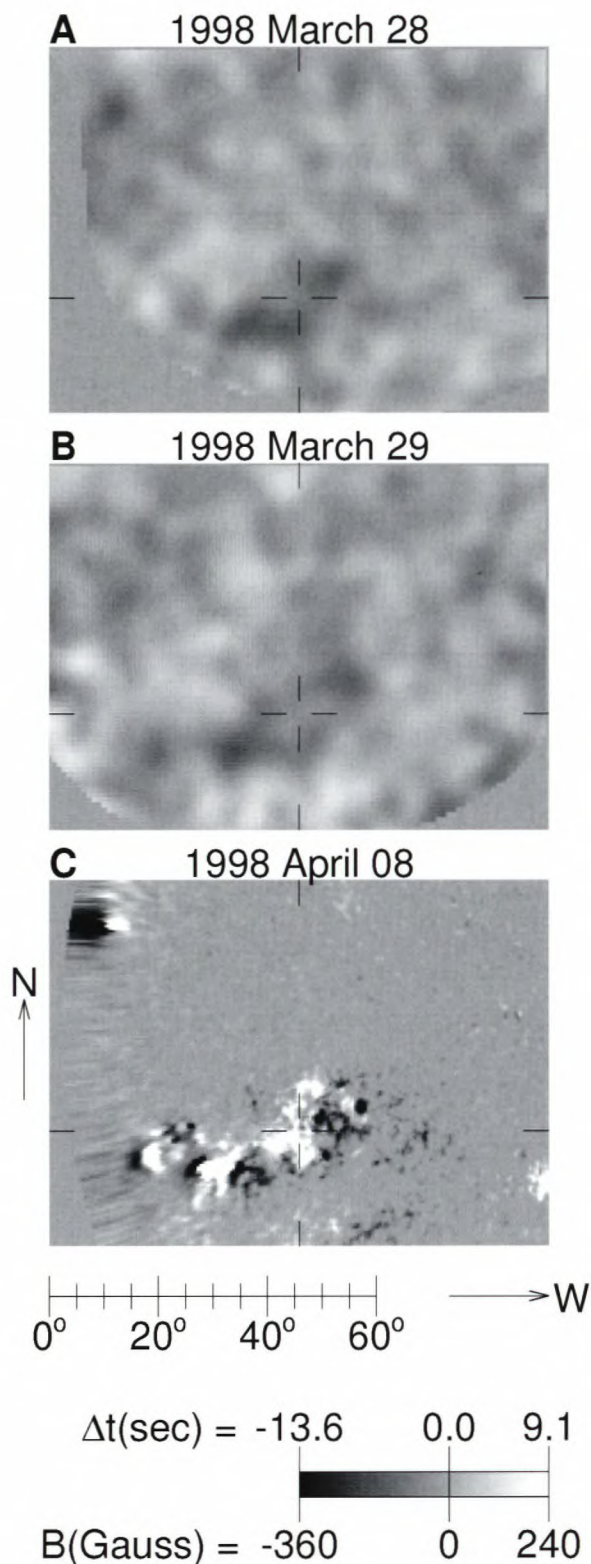
En anden lokal helioseismisk metode er helioseismisk holografi, der har fået sit navn, fordi den minder om den måde, hvorpå øjet fungerer [6]. Metoden går ud på at føre de svingningsmønstre, der observeres ved overfladen tilbage til et fælles fokuspunkt. De svingningsmønstre, der bruges, kommer alle typisk fra et ringformet område på overfladen af Solen der kaldes pupillen. Fokuspunktet befinder sig i midten af området under soloverfladen eller evt. på den anden side af Solen. Ud fra viden om lydbølgernes udbredelse er det

så muligt at beregne et mål for det udgående bølgefelt fra fokuspunktet, kaldet egressionen. Ligeledes er det muligt at beregne et mål for det indkommende bølgefelt i fokuspunktet, kaldet ingressionen. I figur 4 er vist løbebaner for bølger, der bruges til beregning af egressionen (repræsenteret ved de grønne pile) og ingressionen (repræsenteret ved de gule pile) for et fokuspunkt på Solens bagside. En eventuel løbetidsperturbation, Δt , der skyldes en lydhastighedsanomali i fokuspunktet, kan så findes ved at korrelere egressionen og ingressionen og dermed finde en mulig tidsforskydelse mellem de to.



Figur 4. Strålegange for de bølger der er blevet brugt til at undersøge solens bagside for solpletter (gengivet med tilladelse fra [7]). ©American Association for the Advancement of Science

Ved hjælp af helioseismisk holografi lykkedes det for C. Lindsey og D. C. Braun at observerede et aktivt område på Solens bagside [7]. Dette resultat blev omtalt i sidste nummers KVANT-nyheder. De brugte 24 timers tidsserier af SOHO data til lave helioseismisk holografi på Solens bagside, ved hjælp af den konfiguration, der er illustreret i figur 4. Ved at flytte pupillen rundt kunne de flytte fokuspunktet og således afsøge hele Solens bagside. Herved var det muligt at lave et billede af et aktivt område på Solens bagside mere end en uge før området var synligt på forside. Figur 5A viser dette billede, hvor det aktive område viser sig med en løbetidsanomali på ca. 6 sek. På figur 5B ses resultatet af at gentage beregningerne 24 timer senere. Det aktive område har nu flyttet sig et stykke, der svarer til



Figur 5. A og B: Billeder af løbetidsperturbationen, Δt , på solens bagside med 24 timers mellemrum. C: Magnetogram der viser den aktive region, efter den er dukket frem på den synlige side af Solen (fra NSO/Kitt Peak observatoriet). Sigtekornene i billederne følger Solens rotation. Alle billeder er Postel projektioner centeret på sigtekornet (gengivet med tilladelse fra [7]). ©American Association for the Advancement of Science

Solens rotation. Figur 5C viser et magnetogram af den aktive region 10 dage senere, efter at den er dukket frem på Solens forside. Det ses, at den aktive region viser sig præcist, hvor lydhastighedsanomalien blev fundet på bagsiden.

Evnen til at se kraftige aktive områder inden de dukker op på Solen forside, kan gøre det muligt at varsle magnetiske storme endnu tidligere, end man kan i dag. Dette kan få betydning for astronauter og kommunikationssatellitter, da disse er følsomme overfor meget kraftige magnetiske storme.

Fremtiden

Med fremkomsten af de nye lokal helioseismiske metoder er det blevet muligt at lave mere detaljerede studier af strukturer og dynamik i Solens konvektionszone, end det tidligere har været. Studiet af solpletter er blandt de mest lovende anvendelsesområder for disse nye teknikker, og forhåbentlig kan de medføre en øget forståelse af den magnetiske aktivitet i Solen. Begge de metoder, der er blevet omtalt her i artiklen, har potentialet til ikke blot at øge forståelsen af Solens indre, men også hjælpe med at forudsige de magnetiske storme, der kan være til gene for bl.a. rumfarten.

Referencer:

- [1] For en gennemgang af de forskellige lokal helioseismiske metoder se T. Duvall (1998) "Recent results and theoretical

advances in local helioseismology. I: *Structure and Dynamics of the Interior of the Sun and Sun-like Stars*, ESA SP-418, side 581.

- [2] A. G. Kosovichev (1996) "Tomographic imaging of the Sun's interior", *Astrophys. J.*, bind 461, side L55.
 [3] T. L. Duvall m.fl. (1993) "Time-distance helioseismology", *Nature*, bind 362, side 430.
 [4] T. L. Duvall m.fl. (1997) "Time-Distance Helioseismology with the MDI instrument: Initial results", *Solarphysics*, bind 170, side 63.
 [5] Korrelationsanalyse er udført af Tom Duvall ved Stanford universitet, mens den inverse analyse er udført af forfatteren.
 [6] C. Lindsey og D.C. Braun (1997) "Helioseismic Holography", *Astrophys. J.*, bind 485, side 895.
 [7] C. Lindsey og D.C. Braun (2000) "Seismic Images of the Far Side of the Sun", *Science*, bind 287, side 1799.



Jesper Munk Jensen, er Ph.D. studerende ved Teoretisk Astrofysik Center i Aarhus i samarbejde med Geofysisk Afdeling under Geologisk Institut, Aarhus universitet. Han arbejder med anvendelsen af geofysiske metoder til at lave tomografiske rekonstruktioner af forholdene i Solen konvektions zone.

KUPON (kan fotokopieres). Se vejledningen side 30.

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

Jeg er ☐ under uddannelse ☐ pensionist

Jeg ønsker

- ☐ abonnement på Kvant
☐ medlemsskab af AS
☐ medlemsskab af DFS
☐ medlemsskab af DGF
☐ medlemsskab af SNU

Ved DFS-medlemsskab: Angiv evt. ønske om tilknytning til sektionerne for:

- ☐ atomfysik
☐ faststoffysik
☐ uddannelse og undervisning
☐ netværk for kvinder i fysik (KIF)



Sendes ufrankeret
 Modtageren
 betaler portoen

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

Fortsat fra bagsiden ...

stemmelser, som flyene er undergivet, vedrører udelukkende start og landing). Over dele af de førømtalte regioner er brændstofforbruget mere end 10 gram pr. kvadratmeter pr. år. Når dette sker i en højde over jordoverfladen, hvor atmosfæren er tynd og stabil, bliver påvirkningen relativt større, og de udledte stoffer vil først forsvinde efter flere måneder eller år (for CO₂'s vedkommende, flere århundreder). Det kan og skal give store problemer for livet på Jorden.

Hvadenten striberne er friske og retlinede, eller så gamle, at de ses som naturtro cirrus, er de til gene for astronomien. I alle situationer tager de lys fra det målte objekt (stjerne, galakse, ...), og hvis de dukker uventede op kan de i værste fald føre til falske opdagelser. Præcise lysstyrkemålinger afhænger ofte af tekniske målinger udført forud for (eller efter) den videnskabelige observation, og her er usikkerheden om himlens transmission meget generende. På månelyse nætter øger striberne baggrundslyset, og mindsker dermed nytten af disse, for astronomen allerede knap så interessante perioder.

Endelig kan det ikke afvises, at der er spektroskopiske effekter fra de tilførte stoffer, eller at den varme luft i flyenes udstødning degraderer "seeingen". Alt ialt et ikke særlig rart perspektiv. Måske de beskrevne effekter kun synes at indvirke på professionel astronomi, men også amatørers iagttagelsesforhold forringes, da amatørerne jo mest findes i de områder, hvor kondensstriberne er allerkræftigst...

Den Internationale Astronomiske Union har allerede for mange år siden indset problemet. I et lille skrift fra 1977 [7], opfordrer man til at fly ikke kommer observatorier nærmere end 5 km, eller ses mere end 10 grader over horisonten. Desværre er denne opfordring kun fulgt op af enkelte lande, heriblandt Spanien, hvad angår observatorierne på Teneriffe og La Palma, medens f.eks. ESO's observatorier på La Silla og Paranal er ubeskyttede.

Det var derfor naturligt at inddrage emnet ved IAU's møde i Wien "Preserving the Astronomical Sky" (juli 1999), hvilket organisationkomiteen til min overraskelse var imod. Efter en del argumentation lykkedes det dog at komme til orde. En mødedeltager karakteriserede senere talen som det mest "forfærdende" indlæg under konferencen. Det var venligt ment! På opfordring fra det amerikansk/chilenske observatorium Cerro Tololo, har jeg redigeret de fremviste lysbilleder og lagt dem ud på internettet [8]. Flere noter om kondensstriber og astronomi findes samlet i et andet dokument [9].

En mere imødekommende holdning indtages af den International Civile Luftfartsorganisation, ICAO. I en henvendelse hertil har jeg påpeget stribernes betydning for astronomien, og den blå himmels værdi som naturbeskyttelsesmaal, og fremført at disse aspekter ikke er tilgodeset i FN-rapporten. ICAO svarede, at emnet ville blive forelagt dens miljøkomite (Committee for Environmental Aviation Protection, CAEP), og dennes arbejdsgrupper. Men tidshorisonten for en eventuel

efterfølgende handling må nok påregnes at blive meget lang.



Figur 2. En aftenscene fra Holland 1997. Til tider er hele det kontinentale USA og det centrale Europa indhyldet i et slør af sammenflettede kondensstriber. Afhængig af tætheden påvirker de astronomiske iagttagelsesbetingelser, såvel som offentlighedens oplevelse af en ren og klar himmel. Foto: Det Hollandske Meteorologiske Institut (med tilladelse).

Når astronomernes mening om kunstige skyer ikke er entydig skyldes det nok, at vi selv i høj grad afhænger af flyvning. Både observationsrejser, konferencerejser, og studieophold kræver flyvning; ja, vi bruger endda luftbårne observatorier. Men er vi ikke ved at blive som turisterne, som må rejse stadig længere, for at komme til de attraktive steder? Hvornår indser vi at Kloden er endelig, og at der ikke findes nogen erstatning?

Referencer:

- [1] www.dot.gov/affairs/1998/dot20198.htm.
- [2] www.usm.uni-muenchen.de/; klik "Wendelstein Observatorium", "History".
- [3] Ved en gennemsnitlig proces: $2C_{13}H_{28} + 40O_2 \rightarrow 26CO_2 + 28H_2O$.
- [4] Satellitbilleder, som ofte viser kondensstriber over Danmark, kan findes på www.geogr.ku.dk/noaa. Et par eksempler er gemt på www.astro.ku.dk/~holger/noaa.
- [5] Udgivet af Cambridge University Press, 1999; for et dansk resumé se: web.dmi.dk/f+u/publikation/dkc99-3.pdf.
- [6] O. Boucher (1999), Nature, bind 397, side 30.
- [7] F. Graham Smith (1977), "Report & Recommendation of Commission 50", IAU-UNESCO - DG/2.1/414/44
- [8] www.astro.ku.dk/~holger/ (vent 5 sekunder)
- [9] www.astro.ku.dk/~holger/ida/notes.html



Holger Pedersen, f. 1946, er astronom, og arbejder som gæsteforsker ved Astronomisk Observatorium. Han interesserer sig for gammaglimt, meteoritter og astronomiske observationsbetingelser.

Kondensstriber – en trussel mod astronomien

Holger Pedersen

Ved indvielsen af en regional lufthavn udtalte præsident Clinton: "Det virkelige bevis for denne ny lufthavns nytte afgøres ikke af om himlen ses krydset af jetflys kondensstriber." Og han fortsatte: "Beviset skal findes i den vækst, lufthavnen skaber, de job den medfører, og det håb, den inspirer. Håbet findes i øjnene på de børn, som bor på farmene og i disse bjerge, børn, som ser mod himlen, og forestiller sig de steder, de vil rejse til" [1].

Her må jeg erklære mig uenig med præsidenten! De tider, da man lod sig imponere over en kondensstribe er forlængst overstået; dertil er der simpelthen for mange! Hele det kontinentale USA, det centrale Europa, og flere andre regioner Jorden rundt er nu igennem en stor del af året indhyllet i et slør af kondensstriber, som i væsentlig grad nedsætter vor mulighed for at opleve en klar og ren himmel.

At astronomiske observationer påvirkes er uomtvisteligt. Solkoronaen ses nu kun med besvær fra steder, som tidligere blev indrettet specielt til denne form for krævende observationer, f.eks. Mt. Wendelstein i Alperne [2], og Pic du Midi, i Pyrenæerne. Men også natids-observationer generes; herom senere.

Kondensstriber skyldes den vanddamp, som opstår under flyenes forbrænding af drivstof. For hvert tons petroleum, forbruges 3,5 tons ilt (oxygen) fra atmosfæren, og der dannes 1,4 tons vanddamp, og 3,1 tons kuldioxid [3]. Hertil kommer mindre koncentrationer af mange andre luftarter, uforbrændt petroleum, samt sod- og metalpartikler. Når de omgivende luftmassers temperatur og andre forhold tillader det, fryser vanddampen til is, og danner de karakteristiske to hvide linier. Varigheden af striberne betinges bl.a. af atmosfærens relative luftfugtighed; hvis denne er overmættet, kan striberne vokse sig stadig kraftigere på den omgivende lufts bekostning. Stribernes påvirkes kun i ringe grad af sollyset; de kan altså opstå ligevel i dagslyset, som om natten. En øvre grænse for stribernes varighed kendes ikke; der er set skymasser, som stammede fra 17 timer gamle striber, og satellitbilleder har vist striber af op til 30 km's bredde og 2000 km's længde [4]. Striberne er til gene ikke alene for astronomer og andre naturskere,



Figur 1. Himlen over Fyn en aften i november 1999. Kondensstriber som disse kan bestå i flere timer. Gamle striber kan blive flere kilometer brede og ligner ofte naturlige skyer. Foto: Rigmor Pedersen.

men vejrforskere viser stigende bekymring for deres langsigtede påvirkning af Jordens atmosfære. Dette sidste forhold er beskrevet i detalje i FN's nylige rapport om "Luftfart og den Globale Atmosfære" [5]; i nærværende notits, er det dog de kortsigtede effekter, som er hovedemnet.

At problemet med de kunstige skyer er gigantisk forstås ud fra antallet af civile passagerfly, som i et givet øjeblik er luftbårne: ca. 4000 (hver med vægt over 9 tons). Hertil kommer mange mindre fly, fragtfly, og militære fly. I alt har de et samlet vingefang på over 100 km, og bestryger således i løbet af et år et areal større end Jordklodens. Over Nordatlanten er trafikken særlig intens. Her passerer dagligt omkring 600 fly, hvis kondensstriber i væsentlig grad øger skydækket [6]. Det er vel muligt (men ikke studeret) at disse striber siden driver ind over Nordeuropa, nu som naturtro skyer. For hele Kloden vokser flyvningen med ca. 5% årligt, og der findes ingen internationale bestemmelser til regulering af flyenes udledning af affaldsstoffer, hverken for flåden som helhed, eller for de individuelle fly (de be-

Artiklen fortsætter inde i bladet på side 35.