

KVANT

Oktober 2009 3

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 20. årgang

- Istiden sluttede ekstremt hurtigt
- X-shooter instrumentet på VLT
- Spinkæder, partikler og strenge
- Århundredets solformørkelse
- Nekrolog over Aage Bohr
- KVANT-nyheder



Løssalgspris: 45 kr

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

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

Udgives af

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

Redaktion

Michael Cramer Andersen (ansv. red.)
Christianshavns Gymnasium
Torsten Freltoft, Sophion Bioscience A/S
Thomas R. N. Jansson (webredaktør)
Mogens Esrom Larsen,
Matematisk Institut, KU
Sven Munk (nyhedsredaktør)
John Rosendal Nielsen (nyhedsredaktør)
Aurehøj Gymnasium
Lone Djernis Olsen (KIF)
Jens Olaf Pepke Pedersen, DTU Space
Finn Berg Rasmussen, Ørsted Lab, KU
Svend E. Rugh

Abonnementspris : 165 kr/år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Henvendelser vedr. abonnement til forretningsfører Lene Körner tlf. 35 32 07 62 (koerner@kvant.dk).

Annoncepriser

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

Priserne er excl. moms og for reproklart materiale i farver. Henvendelser om annoncer til redaktøren, tlf. 22 67 26 42.

Oplag: 2300. Tryk: HCB Tryk ApS, Brønderslev. ISSN 0905-8893



Produktionsplan

Nr. 4-09 udkommer ca. 15. december
Nr. 1-10 udkommer ca. 15. marts
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Istiden sluttede ekstremt hurtigt <i>Dorthe Dahl-Jensen</i>	3
Nordisk fysikermøde i København, 16.-18. juni <i>Johannes Andersen</i>	9
X-shooter instrumentet på VLT <i>Per Kjærgaard Rasmussen</i>	10
Kaffeskvulp – breddeopgave 36 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	16
Foreningsnyt – foredrag i efteråret	17
Stjernehimlen <i>Michael Cramer Andersen</i>	18
Spinkæder som bindeled mellem partikler og strenge <i>Charlotte Fløe Kristjansen</i>	20
KVANT-nyheder <i>Sven Munk og John Rosendal Nielsen</i>	25
Aktuelle bøger <i>Michael Cramer Andersen og Henrik Bang</i>	29
Rejsen til århundredets længste totale solformørkelse i Kina den 22. juli 2009 <i>Janaki Lund Jensen</i>	30
Totale solformørkelser nu og i fremtiden <i>Michael Cramer Andersen</i>	32
En fysikstjerne er slukket – nekrolog over Aage Bohr <i>Lars Henrik Aagaard</i>	35
De første billeder efter servicemission 4 <i>John Rosendal Nielsen</i>	Bagsiden



Billedet på forsiden viser den kinesiske myte om en drage der ligger på lur i Månens knudepunkter, hvor den sluger Solen ved en total solformørkelse. Læs en beretning om århundredets længste solformørkelse inde i bladet og hvordan man forudberegner solformørkelser ved hjælp af *Saros-perioden*, der er relateret til den *drakoniske måned*, som er opkaldt efter dragen.

KVANT udsendes gratis til (fysiklærerne ved) alle landets gymnasier, seminarier og HTX-kurser med velvillig økonomisk støtte fra fysikinstitutterne på Danmarks Tekniske Universitet samt Københavns, Syddansk, Aalborg og Aarhus Universiteter.

Istiden sluttede ekstremt hurtigt

Af Dorte Dahl-Jensen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

Istiden sluttede brat for 11.704 år siden, hvor den atmosfæriske cirkulation på hele den nordlige halvkugle ændrede sig fra det ene år til det næste. Blot 50 år senere var klimaet blevet 10 grader varmere i Grønland. Det viser nye analyser af en iskerne, som er udboret i Indlandsisen.

Iskerner, som er udboret ned gennem Indlandsisen på Grønland, er unikke klimaarkiver, der fortæller om fortidens klima og om atmosfærens kemi langt tilbage i tiden. Analyserne af iskernerne øger vor forståelse af Jordens komplekse klimasystem og medvirker således til at skabe bedre muligheder for at kunne forudsige, hvordan klimaet vil udvikle sig i fremtiden.

De oplysninger om fortidens klima, som vi finder i iskernerne, er ofte overraskende og med til at sætte klimamodellerne på svære prøver. Det gælder ikke mindst for en ny analyse af den seneste udborede grønlandske iskerne, NGRIP. Undersøgelsen viser nemlig, at istiden sluttede ekstremt brat for 11.704 år siden – sandsynligvis på et eneste år!



Figur 1. Iskerne. Foto: Sepp Kipfstuhl

De første tegn på, at noget stort var i gære begyndte et årti tidligere. I årlagene fra istidens kolde perioder er iskernen fyldt med store mængder støv, som blæser til Grønland fra Kina og Tibet. Men i årene op til istidens afslutning begyndte mængden af støv at falde i den sne, som landede på Indlandsisen. En mulig forklaring er, at monsunbæltet rykkede mod nord, og nedbøren steg, så mere støv blev udvasket fra atmosfæren, inden luftmasserne fra Asien nåede til Grønland. Overgangen til mellemistiden startede altså i troperne og subtroperne, mens klimaet i nord stadig var uændret og bidende koldt.

Så pludselig – fra det ene år til det næste – forandrede den atmosfæriske cirkulation på hele den nordlige halvkugle sig radikalt. Vindmønstrets bratte skift kan måles i iskernen. Vore analyser viser nemlig, at vanddampen, der endte som sne på Indlandsisen, pludselig kom fra et koldere havområde, hvilket sandsynligvis skyldtes, at fordampningsområdet flyttede flere hundrede kilometer mod nord på grund af det ændrede vindmønster. De nye vinde udløste det dramatiske klimaskift mellem istiden og vor nuværende mellemistid.

Måske er vinden kommet fra en anden kant og har blæst havisen i Nordatlanten i stumper og stykker?

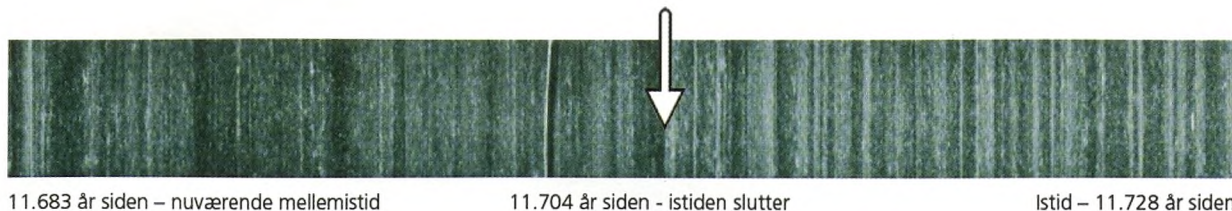
Måske har vinden medvirket til at kick-starte den varme Golfstrøm, som var svækket i istidens kolde perioder? Hvad der præcist skete, ved vi ikke. Men vore analyser af iskernen viser med sikkerhed, at lufttemperaturen i Grønland steg dramatisk i de årtier, som fulgte i kølvandet på den pludselige ændring i den atmosfæriske cirkulation. På blot 50 år blev det 10 grader varmere, og den nuværende mellemistid – hvor den menneskelige civilisation for alvor har foldet sig ud – var begyndt.



Figur 2. NGRIP lejren i midnatssolen – artiklens forfatter i borehallen – boret på vej til at blive sænket ned i hullet – og en iskerne fra dybet af den grønlandske iskappe. Boret er ti meter langt og kan hente tre meter iskerne op ad gangen. Iskernen har en diameter på ti centimeter.

De store iskapper

Både Grønland og Antarktis er næsten helt dækket af tykke iskapper, og de to gigantiske ismasser udgør tilsammen mere end 99 procent af al den is, der ligger på land. Nogle steder er iskapperne over tre kilometer tykke, og de er dannet gennem tusinder af år. Det er sket ved, at lag efter lag af sne er blevet aflejret oven på hinanden år efter år. Når et snelag bliver begravet under nye lag, bliver det efterhånden presset sammen til is under vægten af den sne, som ophober sig ovenpå.



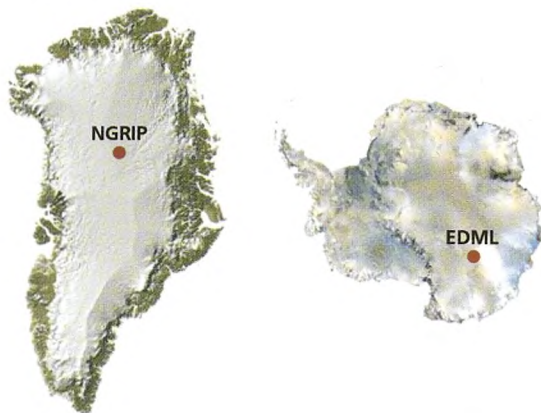
Figur 3. Lufttemperaturen i Grønland tilbage i tiden kortlægges ved at måle forholdet mellem to stabile iltisotoper ned gennem iskernen. Mængden af støv er størst i istidens kolde perioder, f.eks. i Yngre Dryas, den sidste kolde periode lige før istidens afslutning. Den højre side af den viste del af NGRIP iskernen stammer fra Yngre Dryas, de lyse bånd har et højt indhold af støv, idet der omkring støvkornene dannes mange små luftbobler, der får isen til at se lys ud. Efter overgangen til den nuværende mellemistid (markeret med pilen) falder mængden af støv, og isen bliver mørkere. Isen til venstre for midten er fra begyndelsen af mellemistiden, hvor temperaturen i steg med 10 grader på fem årtier.

Datering af isen – år for år



Gennem de senere år har vi dateret NGRIP og de andre grønlandske iskerner med en hidtil uset nøjagtighed – simpelt hen ved at tælle hvert enkelt årlag i isen. Den absolutte kronologi rækker indtil videre 60.000 år tilbage i tiden. Når det er muligt at tælle årlagene i isen på samme måde som årringe i et træ, skyldes det, at vi kan måle sæsonudsving af en række parametre. I isen fra det meste af den nuværende mellemistid kan man se årstidernes skiftet i selve klimakurven, men efterhånden som årlagene udtyndes ned gennem isen fra istiden, udviskes sæsonudsvingningerne. Men heldigvis er der sæsonvariationer i mængderne af forskellige urenheder i isen, som fortsat gør det muligt at skelne mellem de enkelte årlag. Mængden af støv, som primært stammer fra Gobiørkenen og det Tibetanske plateau, topper hvert forår som følge af øget forvitring, når sne og is smelter. Det samme gælder for mængden af svovlsyre, der kulminerer som følge af mikrobiologisk aktivitet i havoverfladen. Om sommeren topper mængden af ammonium på grund af generel biologisk aktivitet, og det samme gælder for mængden af nitrat, som kulminerer, når der er mest sollys og mest gang i træers og planters fotosyntese. Mængden af havsalt i isen er derimod størst om vinteren, sandsynligvis fordi nedbøren og dermed udvaskningen fra atmosfæren er mindst, inden skyerne afgiver nedbør på Indlandsisen. Dateringen af de grønlandske iskerner er så nøjagtig, at den tidsmæssige usikkerhed ved istidens slutning for 11.704 år siden kun er 50 år.

På denne måde dannes der et arkiv af is, hvor den ældste is ligger ved bunden og den yngste ved overfladen af iskappen. Når vi udborer en iskerne fra toppen og helt ned til grundfjeldet, indeholder iskernen lag af is fra hvert eneste år. Analyserne af isen giver meget detaljerede oplysninger om klimaet og atmosfærens kemi tilbage i tiden, og iskernerne er derfor helt unikke klimaarkiver. Den ældste is med uforstyrrede årlag, som vi har udboret fra Grønlands Indlandsis, er 123.000 år gammel og stammer fra NGRIP-borestedet i Nordgrønland.



Figur 4. Iskapperne på Grønland og Antarktis er unikke klimaarkiver. De røde prikker markerer placeringen af to iskerner, som er udboret i de senere år. NGRIP boringen fra Grønland rummer is fra 123.000 år. Iskerner fra Antarktis rækker op til 950.000 år tilbage i tiden, men har ikke en lige så høj tidsopløsning. EPICA iskernen fra Dronning Maud Land på Antarktis har gjort det muligt at sammenholde hurtige klimaskift i nord og syd.

Iskerner og fortidens temperatur

Boret henter iskernerne op i stænger på op til tre meter ad gangen, og fra hvert stykke af iskernen bliver der skåret prøver, som anvendes til at måle mange forskellige klimaparametre på isen. NGRIP projektet er et internationalt samarbejde med deltagelse af ti nationer under dansk ledelse. De mange klimaparametre bliver målt af forskere fra alle de deltagende lande, og resultaterne publiceres som fælles internationale artikler.

NGRIP iskernen har årlag, som er 20 centimeter tykke nær overfladen, mens årlagene er 3 centimeter

tykke ved overgangen fra istiden til vores nuværende mellemistid. Årlagene bliver udtyndet med dybden, fordi isen flyder på en måde, så lagene trykkes sammen, samtidig med at isen flyder ud mod iskappens rand. Mange af de klimaparametre, vi måler på iskernen, bestemmes med en nøjagtighed, der gør det muligt at se den årlige variation af klimaparametrene.

En af de vigtigste klimaparametre, vi måler, er forholdet mellem mængden af tung ilt med atomvægten 18 (^{18}O) og almindelig ilt med atomvægten 16 (^{16}O) i selve isen, som jo består af frosset vand (H_2O). Den sjældne og tunge iltisotop har to ekstra neutroner i atomkernen. Forholdet mellem de to iltisotoper i iskernen afspejler lufttemperaturen på det tidspunkt, da isen i et givet årlag faldt som sne på iskappens overflade.

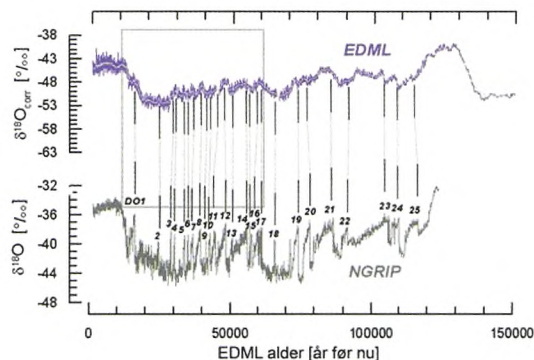
Skyerne, der driver ind over Indlandsisen, dannes over havet, hvorfra de optager vanddamp. På vej ind over den kolde iskappe afkøles skyerne og afgiver nedbør, fordi den mængde vand, en sky kan indeholde, formindskes, når den afkøles. Jo koldere luften er, jo mere sne har skyen tabt, inden den kommer ind til midten af iskappen, hvor iskernerne udbores. Når det sner, falder de sjældne vandmolekyler med tung ilt lettere ud af skyen end almindeligt vand; ganske enkelt fordi de er tungere. Så jo mere skyen afkøles på rejsen hen over Indlandsisen, jo mere vand mister den undervejs, og jo mindre tung ilt er der tilbage i den sne, som falder midt inde på iskappen. Derfor fortæller forholdet mellem let og tung ilt i isen om skyens temperatur, da sneen faldt på iskappens top.

Ved at analysere forholdet mellem de to iltisotoper ned gennem iskernen får vi information om fortidens temperatur og bliver i stand til at beregne den klimakurve, som bl.a. viser, hvordan istiden sluttede, og mellemistiden begyndte. Hele klimakurven ($\delta^{18}\text{O}$) (δ = delta) fra NGRIP-iskernen rækker 123.000 år tilbage i tiden, hvilket dækker den nuværende mellemistid, sidste istid og begyndelsen af den forrige mellemistid, som sluttede for 115.000 år siden.



Figur 5. Boret henter iskernerne op i stænger på op til tre meter ad gangen.

Mens klimaet har været varmt og stabilt gennem vores varme mellemistid, viser klimakurven fra NGRIP, at istidens klima var præget af hurtige og voldsomme klimasvingninger. Faktisk finder man spor af 25 af disse hurtige klimaskift, som kaldes Dansgaard-Oeschger begivenheder, i løbet af sidste istid. Temperaturen i Grønland stiger hurtigt indenfor få årtier med 5-10 grader, hvorefter den aftager mere langsomt over 500 til 2000 år.

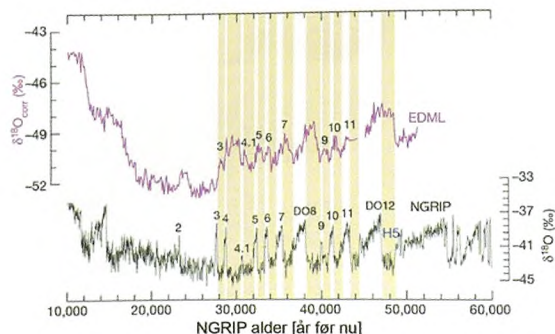


Figur 6. Nederst: Klimakurven fra NGRIP i Grønland for de seneste 123.000 år. Øverst: fra EPICA iskernen fra Dronning Maud Land på Antarktis. Kurverne viser forholdet mellem lette og tunge iltmolekyler i isen gennem tiden. Dette forhold er et mål for temperaturen tilbage i tiden. På figuren er de 25 bratte klimaskift, Dansgaard-Oeschger begivenhederne, nummererede.

De hurtige klimaskift under istiden

Det har optaget os meget at finde ud af, hvad der kan få klimaet til at skifte så voldsomt og brat, og vi har efterhånden fået en forståelse af, hvordan det kan ske. Først kan man konstatere, at de bratte klimaskift ikke skyldes påvirkninger udefra såsom forandringer i solindstrålingen; hverken på grund af de periodiske variationer i Jordens bane omkring Solen eller på grund af ændringer i selve solstrålingens intensitet. Det er således Jordens eget system, der skaber klimaskiftene.

Det har vist sig, at klimakurver fra iskerner fra Antarktis også har klimaskift igennem istiden, men de ser meget anderledes ud end i Grønland. Et eksempel er temperaturkurven fra en iskerne, vi har udboret i forbindelse med det europæiske EPICA program ved Dronning Maud Land på Antarktis. På Antarktis var istidens klimaskift mindre, og de havde hverken bratte stigninger eller fald. Man kan desuden se, at skiftene mellem Nord og Syd ikke sker samtidigt. Mens det er koldt i Grønland, bliver der varmere i Antarktis, og når der i nord sker bratte skift til varmere temperaturer, begynder temperaturen at falde sydpå i Antarktis. Varmen "skvulper" med andre ord frem og tilbage mellem nord og syd. Her er der to meget vigtige spørgsmål, som trænger sig på: Hvorfor opfører klimasystemet sig på en måde, så varme i nord betyder kulde i syd og omvendt? Og hvordan sker de pludselige opvarmninger på den nordlige halvkugle?



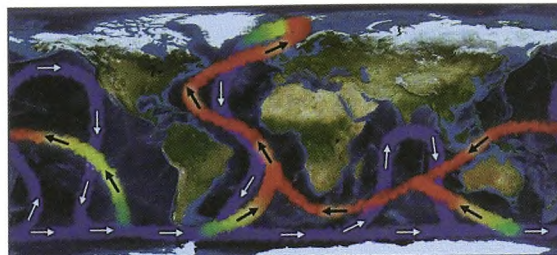
Figur 7. Istidens klimaskift; når det var varmt i nord, var det koldt i syd – og omvendt. Nederst: Klimakurven fra NGRIP i Grønland fra 10.000 til 60.000 år før nu. Øverst: fra EPICA iskernen fra Dronning Maud Land på Antarktis gennem samme periode. Dansgaard-Oeschger begivenhederne er også nummeret her.

Den bipolare temperaturvippe

Jorden modtager mest energi fra Solen på de lave breddegrader nær Ækvator, men heldigvis for os nordboere transporterer vindene i atmosfæren og havstrømmene i oceanerne varme til de høje breddegrader nær polerne. I Atlanterhavet leder en varm overfladestrøm, Golfstrømmen, varmt vand nordpå langs oceanets østlige kant ved Europa og Skandinavien. Danmark nyder godt af denne varme, som medfører, at vort klima er mildere end på samme breddegrad andre steder på Jorden.

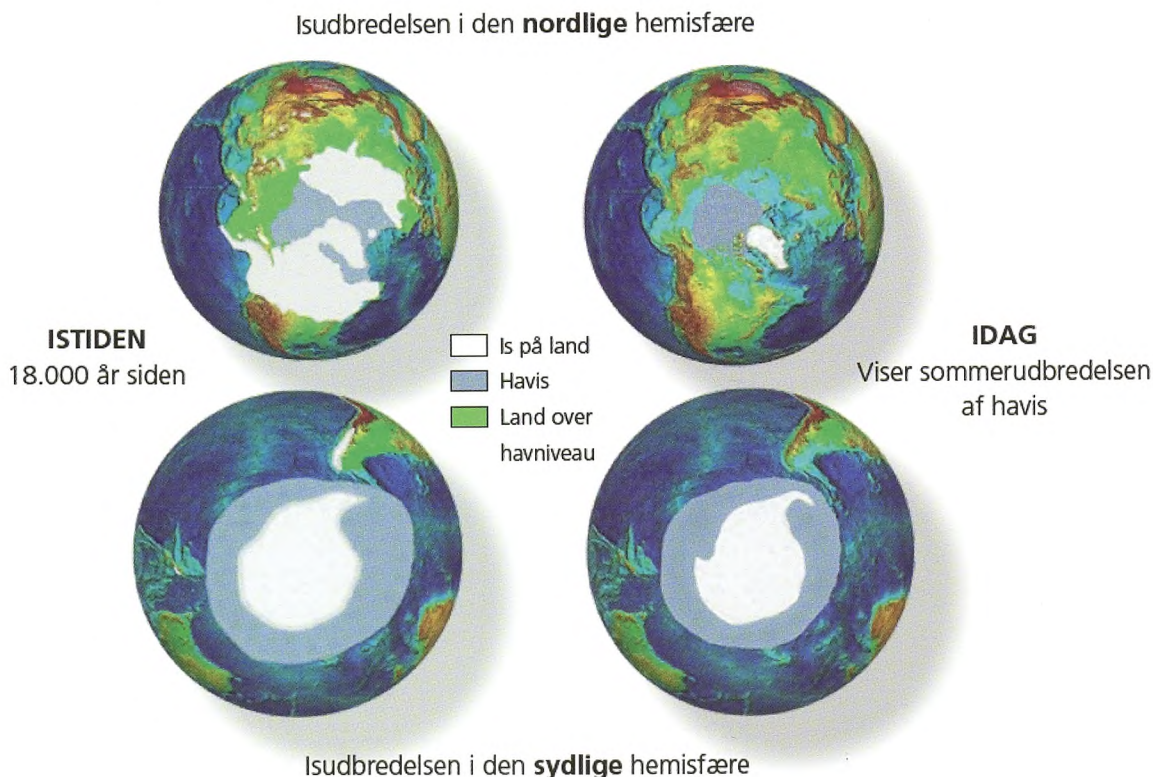
De globale havstrømme kaldes den termohaline cirkulation; "termo" står for varme og "halin" for salt. Drivkraften bag strømmene er forskelle i vandets massefylde, som opstår på grund af gradienter i vandtemperaturen og forskelle i vandets saltindhold.

Vand bliver tungere jo koldere og jo mere saltholdigt, det er. Når Golfstrømmen flyder mod nord, afkøles vandet gradvist og bliver mere saltholdigt på grund af fordampning. Til sidst bliver overfladevandet så koldt, saltholdigt og tungt, at det synker til bunds nord for Island. Nedsynkningen i Nordatlanten er den vigtigste pumpe i den globale havcirkulation, og pumpen driver en dyb kold havstrøm, som fører vandet sydpå igen.



Figur 8. Den termohaline havcirkulation. Den vigtigste pumpe i de globale havstrømme er nedsynkningen af koldt og salt overfladevand i Nordatlanten. Grafik: NOAA.

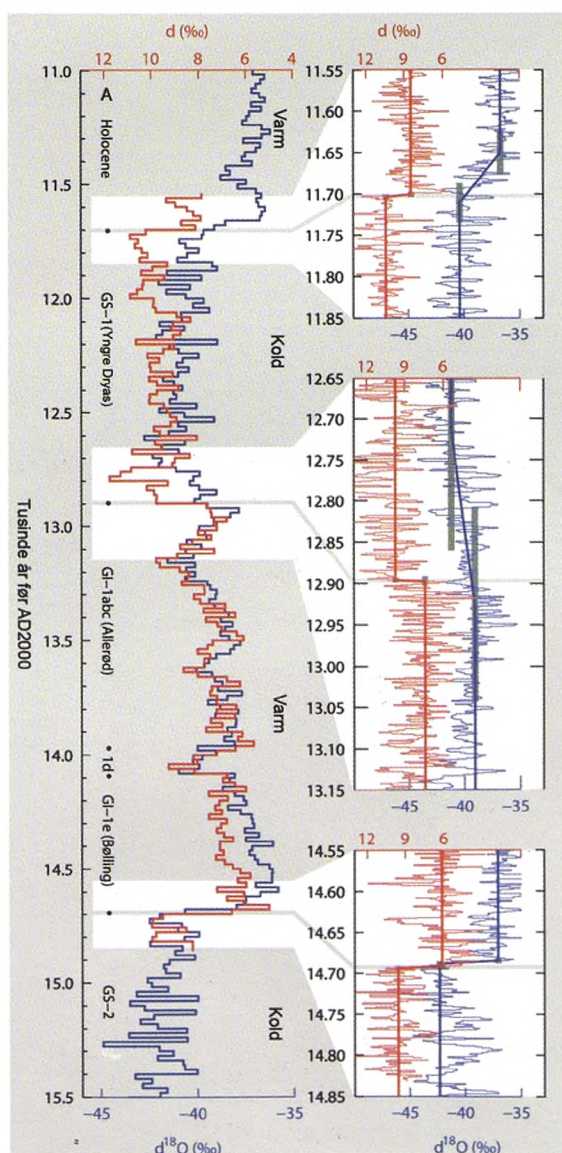
I de perioder under istiden, hvor klimaet var relativt mildt i de nordlige egne, har den termohaline cirkulation været stærk, og den har ført varme fra syd til nord. Ved denne proces 'stjæler' den nordlige halvkugle varme fra den sydlige halvkugle, og afkølingen sydpå kan således forklares ved, at havstrømmene flytter varme fra syd til nord. Omvendt var den termohaline cirkulation svækket i de lange perioder under istiden, hvor det var bidende koldt nordpå, og hvor havisen nåede helt ned til Spanien. Her blev afkølingen i nord forstærket ved, at havstrømmene ikke længere 'stjal' varme fra syden, og følgelig blev havene på den sydlige halvkugle opvarmet.



Figur 9. Isens udbredelse på hav og land ved kulminationen af sidste istid. Grafik: Mark McCaffrey, Paleoclimate Program/NOAA.

De bratte opvarmninger i nord

For at forklare, hvordan episoderne med brat opvarmning kan ske i nord, må man lægge mærke til, at der er væsentlig forskel på fordelingen af landmasser og havområder på den nordlige og den sydlige halvkugle. Mod nord ligger de store kontinenter, hvorpå der kan dannes iskapper i kolde perioder. Ved sydpolen ligger Antarktis, som er omgivet af havet, men ellers er der ikke store landmasser i de sydlige have. Under istiden dækkede kæmpemæssige iskapper Nordamerika (Laurentide iskappen) og Nordeuropa (Den Fennoskandiske Iskappe), og muligvis var der også iskapper over Sibirien. Det kolde klima gav samtidig anledning til mere havis og også flydende ishylder, der rakte langt ud i havet, som dem vi ser omkring Antarktis i dag. Mod syd er der ikke landmasser, hvorpå store iskapper kunne bygges op, men ishylderne har været større i istiden og havisen mere udbredt.



Figur 10. Den blå kurve viser klimaets udvikling gennem de seneste 15.500 år målt ud fra forholdet mellem tung ilt og almindelig ilt i NGRIP iskernen. Denne kurve afspejler lufttemperaturen i Grønland. Den røde kurve viser deuterium overskuddet, som er et indirekte mål for havtemperaturen i det område, vanddampen kom fra.

I perioderne med koldt klima i nord var iskapperne store og omgivet af fyldende is. Den termohaline cirkulation var svækket. Men i slutningen af de kolde perioder sendte iskapperne enorme mængder af isbjerge ud i havene, hvilket især skete fra Laurentide iskappen. Der er flere teorier fremme til at forklare hvorfor, men den fremherskende ide er, at opvarmningen af sydhavet giver anledning til en havvandsstigning nordpå, hvilket fik iskapperne til at skride ud. Når processen først starter, vil isbjergene hæve havniveauet yderligere og få endnu mere is til at skride ud. Processen stopper først, når iskapperne er "udsultet". Observationer viser, at meget store mængder af is blev sluset ud i havet – nok til at man observerer havvandsstigninger af størrelsesordenen 10 meter. Nu blev det for alvor koldt nordpå, og den store tilførsel af ferskvand slukkede helt for den termohaline cirkulation.

Efter udboringen af NGRIP iskernen har vi udført meget detaljerede målinger hen over de meget bratte opvarmninger, som afsluttede de kolde perioder i nord. Nye og spændende resultater fra NGRIP iskernen er lige blevet publiceret i det prestigefulde tidsskrift *Science*, og her lancerer vi en ny forklaring på mekanismerne bag de to seneste opvarmninger i istiden. Den første af dem var den varme Bølling-Allerød periode, som begyndte for 14.694 år siden og sluttede for 12.897 år siden. Derpå kom den kolde periode Yngre Dryas, som varede frem til den dramatiske opvarmning ved begyndelsen af vor nuværende mellemistid.

Vinden skifter og fordampningsområdet flytter

Udover den klimaparameter, som bygger på det indbyrdes forhold mellem tung ilt og almindelig ilt i isen, vil jeg nu introducere en anden klimaparameter, som er baseret på vands brintisotoper (δD). Her måler vi forholdet mellem tung brint (D) også kaldet deuterium, der har en ekstra neutron i kernen og atomvægten 2, og almindelig brint med atomvægten 1. Forholdet mellem de to brintisotoper ned gennem årlagene i isen giver en klimakurve på samme måde som forholdet mellem iltisotoperne, og de afspejler ligeledes temperaturen i de skyer, der dækkede toppen af indlandsisen med sne. Der er dog en lille, men vigtig forskel, som vi kalder deuterium overskuddet ($d = \delta D - 8\delta^{18}O$). Deuterium overskuddet er en indirekte parameter for havvandets temperatur i det havområde, hvorfra vanddampen, der giver nedbør over Grønland, blev dannet.

Når det bliver koldere i Grønland, falder mængden af både tung ilt og tung brint i nedbøren og dermed isen, så både δD og $\delta^{18}O$ aftager, men deuterium overskuddet vokser typisk, fordi der er varmere i fordampningsområdet, som vides at ligge i subtropierne. Fordampningsområdet menes at blive varmere, fordi kulden fra nord skubber fordampningsområdet sydpå. Men ved de bratte opvarmninger nordpå for 14.694 år siden og for 11.704 år siden skete der noget mærkeligt!

Deuterium overskuddet skifter fra varme værdier til koldere værdier på et enkelt år svarende til en afkøling af fordampningsområdet på 2-4 grader. Så hurtigt kan

et havområde umuligt nedkøles, så på et enkelt år må fordampningsområdet være flyttet flere hundrede kilometer nordpå. Det kan kun forklares ved, at atmosfærens cirkulation på hele den nordlige halvkugle brat er skiftet, hvilket har medført, at vanddampens kildeområde har ændret sig. Efter det bratte skift i vindmønsteret ser vi i iskernen, at lufttemperaturen over Grønland i de følgende årtier steg stærkt i takt med, at havisen forsvandt.

Vi ved ikke, hvorfor eller hvordan den atmosfæriske cirkulation på den nordlige halvkugle skiftede fra år til år ved opvarmningerne for 14.500 år siden og for 11.704 år siden. Men en mulig forklaring er, at monsunbæltet blev skubbet nordpå af den opvarmning, som fandt sted i sydhavet sidst i den meget kolde periode mod nord, og det kan have startet det voldsomme og pludselige skift i den atmosfæriske cirkulation, der på blot 50 år opvarmede de arktiske områder med 10 grader.

Bratte skift i mellemistider – og i fremtiden?

Det er meget bemærkelsesværdigt, at Jordens interne klimasystem kunne skifte så brat i istiden. Som tidligere nævnt var der i alt 25 bratte klimaskift i sidste istid, og de to sidste skift bragte klimaet ind i den nuværende varme mellemistid. I mellemistiden har klimasystemet ikke udvist lignende store udsving. Det er bestemt noget, vi skal sætte pris på, og det stabile klima er sandsynligvis en medvirkende årsag til, at vores civilisation har kunnet udvikle sig så rivende.

Vil bratte klimaskift kunne ske i fremtiden, hvis den globale opvarmning tipper vort klima over i en anden balance? For at svare på det, må man først bemærke at forsøg på at genskabe de bratte istidsskift i beregninger med klimamodeller ikke har været særlig succesfulde. Hvis klimaet bevæger sig ind i en ny tilstand, der muliggør bratte skift, vil vores klimamodeller derfor næppe være i stand til at advare os om risikoen.

Til trods for den intensive klimaforskning gennem de sidste år kan man derfor konstatere, at nok er vi blevet meget klogere, men der er stadig lang vej igen, før vi forstår det meget komplekse klimasystem på Jorden. Undersøgelser af højtopløste klimaserier, som dem iskernekerne giver, og udvikling af klimamodeller baseret på den procesforståelse, der fremkommer ud fra data om fortidens klima, er således helt nødvendige for at blive i stand til at kunne forudsige fremtidens klima. Der er stadig meget at forske i!



Dorthe Dahl-Jensen er professor i isfysik og leder Grundforskningscenter for Is og Klima med fokus på at bruge iskernedata til at forstå fortidens, nutidens og fremtidens klima. Har ledet det Internationale Polarårs iskerneboringsprogram NEEM. Modtog Villum Kann Rasmussens Årslegat til Teknisk og Naturvidenskabelig Forskning i 2001.

FORSKERLIV – LIV I FORSKNINGEN

10 FORTÆLLINGER



VILLUM KANN RASMUSSEN FONDEN

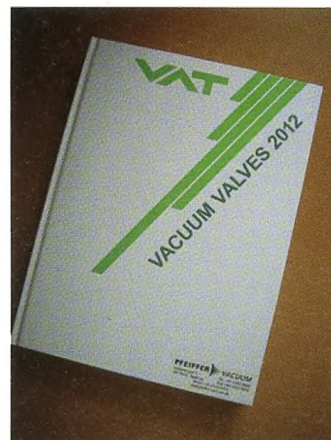
Denne artikel er hentet fra bogen "Forskerliv – Liv i forskningen. 10 fortællinger" udgivet af VILLUM KANN RASMUSSEN FONDEN (januar 2009). Bogen, der indeholder i alt 10 artikler skrevet af tidligere modtagere af fondens årslegat, markerer 100 året for Villum Kann Rasmussens fødsel.

Bogen kan i begrænset omfang rekvireres af universitetsforskere ved at kontakte fondens sekretær Signe Staubo Sørensen (sss.fond@velux.com).

PFEIFFER  **VACUUM**

VAT

- ventiler i verdensklasse



Nyt "Katalog 2012" kan rekvireres ved henvendelse:

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

Nordisk fysikermøde i København, 16-18. juni 2009

Af Johannes Andersen, Næstformand, DFS

Som KVANTs læsere vil vide, har Dansk Fysisk Selskab (DFS) gennem mange år afholdt vellykkede årlige møder med et alsidigt program af plenum- og sessions-foredrag om et bredt udvalg af emner indenfor forskning og undervisning i fysik. De senere år har møderne fundet sted på det centralt placerede Hotel Nyborg Strand.



Figur 1. Professor Jun Ye fra University of Colorado holder foredrag om ekstremt præcise atomare ure i det store auditorium onsdag morgen.



Figur 2. Udstillere, studenter og fysikere i diskussion på gangen med posterne.

På initiativ af DFS' formand, Jørgen Schou, Danmarks Tekniske Universitet (DTU), drøftede de nordiske fysiske selskaber allerede i 2007 muligheden for at afholde årsmødet i 2009 som et fælles arrangement mellem de nordiske selskaber. Hensigten var, såfremt et sådant møde blev vellykket, at forsøge det gentaget hvert andet år fremover med skiftende værtsland. Trods meget forskellige traditioner for årsmøder i de nordiske lande fandt forslaget tilslutning fra alle sider, og Jørgen Schou tilbød på DFS' og DTUs vegne at være vært for mødet.



Figur 3. Fysikere til foredrag.

Indbydelsen blev modtaget, og mødet blev afholdt på DTUs campus i Lyngby, 16.-18. juni 2009. Netværket for Kvinder i Fysik afholdt som vanligt sit årlige møde på DTU dagen forinden. Jørgen Schou havde som hovedarrangør lagt et stort arbejde i forberedelserne, herunder skaffet betydelig finansiel støtte fra en række sponsorer, og mødet blev en stor succes. Af hovedpunkter kan nævnes:

- Deltagerantallet var langt det største nogensinde: 260, heraf ca. 1/3 fra de andre nordiske lande. Programmet bød på 10 plenumtalere, 89 andre foredrag og 67 poster.
- Plenumtalerne var alle af meget høj standard, og der var enighed om, at det var lettere at skaffe internationale kapaciteter til et nordisk møde end til et rent nationalt.
- De disciplin-orienterede møder foregik i parallelle sessioner for astrofysik, AMO fysik, biofysik, condensed matter, nanofysik, plasmafysik og uddannelse. Kvaliteten levede mindst op til standarden fra DFS' tidligere årsmøder, og specielt var sessionerne for plasmafysik og uddannelse af klart overlegen kvalitet. Posterne var ligeledes af meget høj standard.
- Grundet sponsorstøtten og bidrag fra et stort antal nordiske udstillere kunne kongresmiddagen, to frokoster og alle kaffepauser inkluderes i det i øvrigt beskedne kongresgebyr.
- Der var gennemgående stor tilfredshed med mødet, som var en god mellemting mellem de ofte lidt for små nationale møder og de ofte alt for store internationale kongresser: Større vingefang og flere rigtig gode foredrag, men stadig så lille, at man kunne finde alle, man gerne ville træffe. Forhåbentlig kan det inspirere til at gøre fremtidige DFS-møder endnu mere attraktive!
- Mødet sluttede med en invitation til næste nordiske arrangement i Finland i 2011, og med en hjertelig tak fra alle deltagere til de utrættelige arrangører, Jørgen Schou og Britt Boding.



Figur 4. Formændene for de nordiske fysikelskaber blev takket under konferencemiddagen.

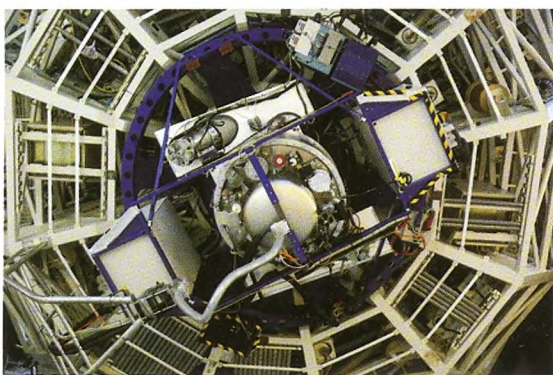
X-shooter instrumentet på VLT

Af Per Kjærgaard Rasmussen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

X-shooter er en ny spektrograf til VLT, der dækker hele det spektrale område fra 300nm til $2,4\mu\text{m}$ i én optagelse. Instrumentet er bygget af et konsortium bestående af institutter fra Danmark, Frankrig, Holland, Italien samt ESO selv. Instrumentet er blevet testet på VLT teleskopet i løbet af 2008 og 2009 og har vist sig til fulde at leve op til forventningerne om at være den mest følsomme spektrograf af sin art i verden. X-shooter tages nu officielt i brug per 1. oktober 2009. Til gengæld for sit bidrag får Niels Bohr Institutet 45,5 nats observationstid på instrumentet.

Historie

Projektet med bygning af X-shooter startede i 2002 efter Det Europæiske Sydobservatorium (ESO) havde indkaldt forslag til nye – såkaldte anden generations instrumenter – til VLT [1].



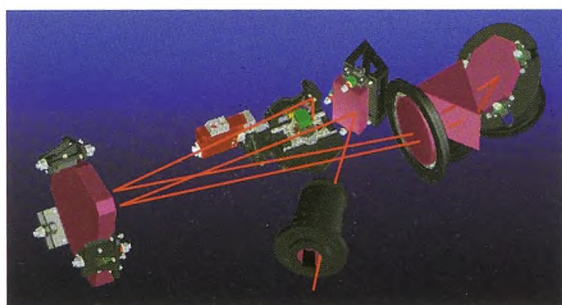
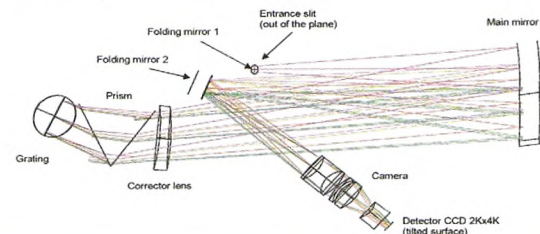
Figur 1. VLT (øverst) og X-shooter monteret på VLT (nederst). X-shooter ses nedefra: Den blå ring fastgør instrumentet til VLT, i midten sidder den infrarøde spektrograf, øverst til venstre sidder den visuelle spektrograf, nederst til højre sidder den blå spektrograf. De tre spektrografer er fastgjort til en fælles struktur kaldet Backbone. Kasserne nederst til venstre og øverst til højre indeholder elektronikken.

ESO mente, at efter dette teleskop havde været i rutinemæssig drift i et stykke tid, var det på tide at tænke på nye instrumenter. Oplægget fra ESO gik ud på bl.a. en spektrograf der skulle være så effektiv som muligt og samtidig dække hele det spektrale område fra 300 nm til $2,4\mu\text{m}$ i én optagelse. ESOs opfordring blev besvaret med i det væsentlig to forslag. De involverede institutioner, fra Danmark, Holland og Italien, blev venligt men bestemt samlet i ét konsortium, der senere blev udvidet med et fransk bidrag. Tidligere, for de første instrumenter til VLT, havde ESO selv stået for finansieringen og været hovedansvarlig for instrumenterne. Det nye ved X-shooter konsortiet var, at de involverede lande bidrog med hovedparten af finansieringen, både mht. arbejdskraft og udstyr. Til gengæld for deres bidrag fik de enkelte lande garanteret observationstid på instrumentet modsvarende størrelse af deres bidrag. For Danmarks vedkommende blev der underskrevet en kontrakt mellem ESO og Københavns Universitet (KU), hvor KU lovede at Niels Bohr Institutet bidrog med 19 mandeår. Samtidig havde Carlsbergfondet bevilget 5,6 mio. kr. til projektet. ESO lovede til gengæld, at de ville stille 45,5 nat til rådighed på instrumentet for NBI. Kontrakten mellem ESO og KU blev underskrevet af ESOs generaldirektør og den daværende pro-rektor for KU. Efter projektets afslutning, kan det konstateres at det tog 7 år at udvikle, fremstille og afprøve instrumentet, der løb op i en samlet pris på omkring 50 mio. DKK og ca. 70 mandeår.

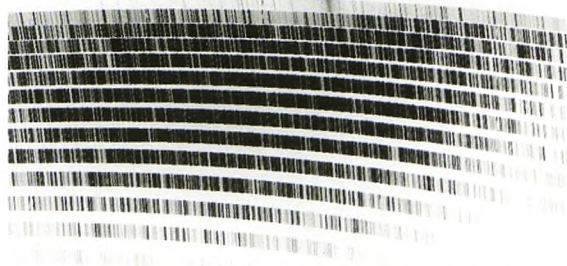
Instrumentkoncept

Målsætningen med instrumentet var at konstruere en spektrograf, der for ét objekt gav hele spekteret fra det ultraviolette til det infrarøde, og samtidig havde så høj en følsomhed, som overhovedet muligt. Optisk set er dette meget svært, i praksis kan den samme optik ikke både være meget effektiv og dække et meget stor område i bølgelængde. Løsningen var derfor – på en eller anden måde – at dele spekteret op. Det viste sig nu, at i praksis kunne man få meget effektive dichroiske filtre, der reflekterer den blå del af lyset meget effektivt, og som med næsten lige så stor effektivitet tillader det lys der er rødere at passere. Så vi endte med et instrumentkoncept hvor lyset efter at det samles i teleskopets brændplan, bliver splittet i tre områder: UV-blåt (kaldet UV), visuelt/rødt (kaldet VIS) og infrarødt

(kaldet NIR) ved hjælp af to dichroiske filtre. UV reflekteres fra det første dichroiske filter, VIS fra det andet og NIR går lige igennem de to filtre. I selve brændplanen sidder der bl.a. et lille kamera hvor man kan se det felt af himlen teleskopet peger mod, og her så vælge det objekt man vil observere. De tre spektrografer, der nu kan optimeres og gøres meget effektive inden for det spektralområde de dækker, er alle indrettet efter samme princip. Lyset møder først en spalte, der definerer den spektrale renhed (opløsning) man kan få, og samtidig begrænser himmelbaggrundens indflydelse. Lyset sendes nu videre til en spejl kollimator, herfra sendes det parallelle lys videre gennem et prisme til et stort refleksionsgitter og til sidst videre til det optiske kamera, der danner det endelige spektrum på CCD-detektoren. Det optiske layout og den nøjagtige lysvej fremgår af figur 2.



Figur 2. Det optiske layout af UV/VIS spektrograferne. Lyset går igennem indgangsspalt og hen på et første foldespejl, der fra hen på det store kollimatorspejl, så videre gennem en korrektorlinse gennem et prisme til et stor refleksionsgitter. Herfra tilbage til kollimatorspejlet, der så danner et intermediært spektrum på foldespejl nummer 2. Endeligt går lyset videre til det optiske kamera, der danner det endelige spektrum på CCD-detektoren.



Figur 3. UV spekteret fra en spektrallampe. UV spekteret er i det væsentlige dækket af echelle-ordnerne 13 (øverst) til 24 (nederst). Bølgelængden midt i orden 13 er 568,8 nm og midt i orden 24 er den 308,1 nm. Bemærk at orden gange bølgelængde er konstant for en given udfaldsvinkel (f.eks. midt i hver echelle orden).

Gitteret er et såkaldt echelle gitter, der opererer i en høj orden, hvilket betyder, at hver orden kun dækker et begrænset bølgelængdeområde. Da de forskellige ordner falder oveni hinanden skilles ordnerne ad vha.

prismet, der spreder lyset vinkelret på den retning gitteret spreder lyset. Man har en konstruktion der kaldes "en krydset echelle", som er specielt velegnet til en kvadratisk detektor [2]. Et eksempel på et resulterende spektrum er vist i figur 3. CCD'ens størrelse er 2048×4096 pixels.

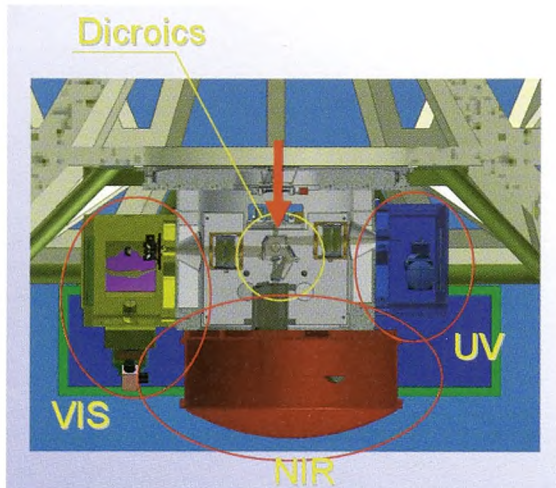
Beliggenheden af de forskellige ordner er i øvrigt styret af gitterligningen $m\lambda = gk(\sin \alpha + \sin \beta)$, hvor m er interferensordenen, λ er bølgelængden, gk gitterkonstanten, og α og β er hhv. indfalds- og udfaldsvinkel på refleksionsgitteret. Man bemærker, at i en given retning (β) er $m\lambda$ konstant, så bølgelængden midt i hver echelle-orden skal opfylde denne betingelse. Endelig må man karakterisere spektrograferne ved deres opløsning, $\Delta\lambda$, dvs. hvor fine detaljer man kan se i spekteret. Sædvanligvis udtrykker man opløsningen som $R = \lambda/\Delta\lambda$, dvs. hvor mange spektrale elementer man kan opløse. Når man, som her, vil dække hele spektralområdet, kan opløsningen ikke blive meget høj, for X-shooters vedkommende varierer opløsningen fra 5.000 (UV spektrografen) til 8.000-10.000 (VIS spektrografen) for brug af en spalte på 1".

Med udgangspunkt i det oven for beskrevne koncept blev det naturligt at dele X-shooter instrumentet op på følgende måde: En central fælles struktur kaldet Backbone, der indeholder alle fælles funktioner og hvor lyset bliver splittet op i de tre arme: blå, visuelt og infrarødt og de tre spektrografer kaldet UV, VIS og NIR. Der hører selvfølgelig elektronik med tilhørende software til instrumentet, der sørger for styring af de enkelte funktioner. Og endelig, som en naturlig del af ethvert moderne instrumentprojekt, bliver der udviklet en dedikeret reduktions pipeline der omsætter de rå optagelser til færdige spektre.

Fordelingen af de forskellige X-shooter dele blev følgende: Danmark (ved Niels Bohr Institutet) kom til at stå for Backbone med alle de fælles funktioner, bænke for UV og VIS spektrograferne samt det meste af hardwaren til den elektroniske kontrol af instrumentet. Italien skulle konstruere de to "optiske" spektrografer og kontrol softwaren, mens Holland tog sig af den infrarøde spektrograf. Det sidste er en forholdsvis stor opgave, fordi hele spektrografen skal være i vakuum og være kølet med flydende kvælstof til ca. 140 K, og desuden bruge en speciel infrarød detektor. Endelig kom Frankrig til at bidrage med data reduktions pipeline samt en lille (men vigtig) enhed, der kaldes en Integral Field Unit. ESO selv skulle stå for detektorerne, de dichroiske filtre, den overordnede styring af projektet samt den endelige samling og afprøvning af instrumentet, først ved ESO's europæiske hovedkvarter i Garching ved München, og senere ved VLT teleskopet, på Paranal, i Chile.

I virkeligheden tog det os rigtig lang tid at beslutte os for det endelige layout af hele instrumentet. Vi måtte gennem mange undersøgelser og overvejelser inden vi nåede frem til det endelige design. Der blev afholdt to store reviews: "Preliminary Design Review" i december 2004, og endelig "Final Design Review"

i juni 2006. Til begge reviews blev der skrevet 40-50 dokumenter, der i detalje redegjorde for designet (optik, mekanik, elektronik, instrumentsoftware, datareduktionssoftware) [3]. Efter det første review fik vi mere eller mindre pålagt at udvide det infrarøde område fra $1,8\mu\text{m}$ til ca. $2,4\mu\text{m}$, noget der komplicerede, fordyrede og – viste det sig – forsinkede bygningen af den infrarøde spektrograf. Et overblik over instrumentet er givet i figur 4.



Figur 4. Overblik over X-shooters forskellige dele. De tre spektrografer, UV, VIS og NIR ses monteret på Backbone, der igen er monteret på VLT.

Det danske bidrag

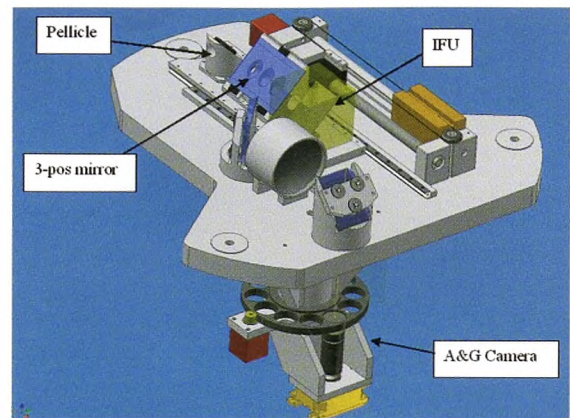
Det vigtigste danske bidrag er den fælles mekaniske struktur, hvorpå de tre individuelle spektrografer er monteret. Backbone indeholder desuden de to enheder *Aquisition and Guide Unit* (A&G Unit) og *Preslit Optical Table* (POT). Disse to enheder, der beskrives detaljeret i det følgende, indeholder en række funktioner der er fælles for de tre spektrografer.

Backbone er designet og konstrueret af den astronomiske instrumentgruppe ved NBI, hvor næsten hele gruppen har været involveret mere eller mindre heltids i perioden 2003 til og med 2007. Et mindre men vigtig bidrag til beregninger af styrke og nedbøjninger i Backbone er ydet af Dansk Rumforsknings Center.

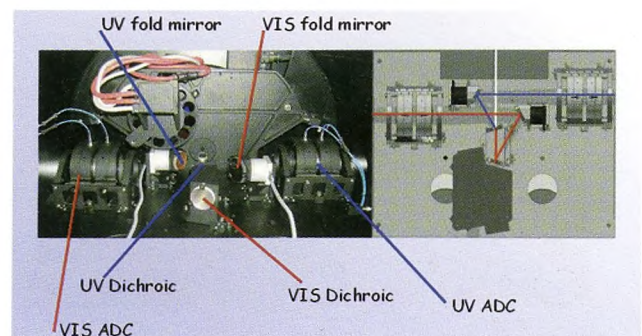
Aquisition and Guide Unit: Det første stjernelyset møder på sin vej er denne enhed, der sidder i teleskopets brændplan. Enhedens vigtigste funktion er at isolere det objekt man ønsker at observere med en bred spalte (der sidder på en stor slæde, se figur). Desuden indeholder enheden et lille CCD-kamera hvormed man kan se det felt på himlen, som teleskopet peger mod, og her kan man så finde sit objekt og centrere dette på den store spalte. Kameraet er forsynet med et filterhjul med standard filtre således at man også kan udføre fotometriske målinger med kameraet.

I *Aquisition and Guide Unit* sidder også forskellige enheder, der kan bruges til ingeniørmæssige checks, og endelig sidder der en enhed kaldet "Integral Field Unit" (IFU). IFUen kan skære et område på $2'' \times 4''$ på himlen op i tre områder som kan stables oven på hinanden i spaltens længderetning. Enheden bruges på to måder,

enten hvis man har et meget svagt objekt hvis position ikke er helt velbestemt, eller hvis man har et udstrakt objekt hvor man gerne vil have et spektrum flere steder i objektet.



Figur 5. Aquisition and Guide Unit med de forskellige enheder markeret. På den store slæde sidder en pellicle, et 3-positions spejl, og IFUen. Vha. pelliclen (som er et tyndt gennemsigtigt og spejlende folie) kan man med kameraet se spektrograf spalterne. Den centrale brede spalte er i en af positionerne af det store spejl. En åben position tillader lyset at passere til A&G kameraet.



Figur 6. Både *Aquisition and Guide Unit* (A&G) og *Preslit Optical Table* (POT) ses her monteret i Backbone. Øverst bunden af A&G Unit, med kamera (med vandslanger til køling) og filterhjul for kameraet. Nederst ses POT, der står vinkelret på A&G Unit. Positionen af de dichroiske filtre, foldespejlene og ADC'erne er vist. Strålegangen for UV og VIS spektrograferne er vist på figuren til højre.

Preslit Optical Table indeholder de øvrige fælles funktioner før stjernelyset rammer indgangsspalterne for de tre spektrografer. Her splittes lyset op til de tre spektrografer og her er mulighed for at korrigere for mekaniske nedbøjninger i Backbone. I enheden kan man også korrigere for, at jordens atmosfære danner et lille spektrum af stjernerne, og endelig gøres billedet af stjernen mindre for at det kan passe til billedelementerne på CCD-detektorerne. Stjerne betyder selvfølgelig her bare det objekt man observerer, og kan lige så godt være en galakse eller noget andet.

Lyset splittes ved hjælp af dichroiske filtre (eller spejle), og to foldespejle forsyner hhv. UV og VIS spektrograferne med lys. Når teleskopet peger mod forskellige områder på himlen vil tyngdekraften skabe små nedbøjninger (deformationer) i Backbone strukturen, som gør, at de tre spektrografs spalter ikke

“ser” det samme område på himlen. For at korrigere for disse deformationer, er der monteret små piezo drevne tip-tilt borde under foldespejlene. Derved kan man sikre, at lyset kommer præcist igennem alle tre spektrograferes spalter.

En stjerne afbildes ikke som et punkt af teleskopet. Pga. jordatmosfærens indflydelse afbildes stjernen som en lille skive, størrelsen af denne skive kaldes “seeingen” og ligger typisk mellem 0,5”-1”. Desuden vil seeing skiven normalt også afbildes som et (meget) lille spektrum pga. af at jordens atmosfære spreder lys lige som et svagt prisme (hvis stjernen står eksakt i zenit er der ingen effekt, jo nærmere horisonten stjernen står jo større er effekten). Denne effekt er uønsket, fordi man risikerer at miste noget af stjernens lys når man isolerer stjernen vha. spalten. Man kan korrigere for denne effekt vha. 2 prismer som drejes ift. hinanden – et sådan system kaldes en “Atmosfærisk Dispersions Korrektor” (forkortet ADC). I X-shooter bliver lyset til UV og VIS spektrograferne sendt gennem en ADC inden det når spektrografens indgangsspalte. I det infrarøde er den atmosfæriske spredning af lyset så ringe, at man her undlader at korrigere for effekten.

En vigtig del af en spektrograf er indgangsspalten, der isolerer den del af stjernes lys der slipper igennem til spektrografen. Belyses spalten med lys af en bestemt bølgelængde, vil der på spektrografens detektor (her en CCD) dannes en billede af indgangsspalten på det sted der svarer til den pågældende bølgelængde. Spalten definere den spektrale opløsning eller renhed. For ikke at miste for meget lys må spalten have omtrent samme bredde som bredden af seeing skiven. På den anden side må billedet af spalten (som altså er givet ved seeing skiven) også have en bredde der svarer til CCD’ens billedelementer. En typisk størrelse af CCD’ens billedelementer, kaldet pixels, er omkring 15 μm . Man ønsker nu, at spalten (seeing skiven) afbildes i ca. 2 pixels på CCD-detektoren. Hvis seeing skiven fylder (meget) mere end 2 pixels udnytter man CCD’ens areal dårligt, og hvis den fylder mindre mister man opløsning. For VLT’en er skalen i teleskopets brændplan 530 $\mu\text{m}''$, dvs. 1” fylder ca. 35 pixels på CCD’en – så her har man et problem.

For X-shooter er problemet løst i to tempi: sammen med de atmosfæriske dispersions korrektorer er indbygget noget optik, der reducerer VLTens skala fra 530 $\mu\text{m}''$ til 256 $\mu\text{m}''$, hvor efter der sker en yderligere reduktion i selve spektrograferne (denne ekstra reduktion er forholdet mellem spektrografens kamera- og kollimator brændvidder) til 105 $\mu\text{m}''$, så man ender med at have acceptable ca. 7 pixels per buesekund.

Tilpasning af teleskopets skala til størrelsen af CCD’ens pixler er et generelt problem, der bliver større jo større teleskoper der bygges. Teleskopets skala er entydigt bestemt af teleskopets brændvidde. For en given teleskop-diameter kan man ikke gøre brændvidden vilkårlig kort, fordi det simpelthen ikke er muligt at bygge (store) spejle med en brændvidde der er mindre end ca. 2,5 gange diameteren af spejlet.

Problemet er illustreret i tabellen neden for, hvor skalaen for de 3 teleskoper, Det Nordiske Teleskop på La Palma, VLT, og det planlagte E-ELT er angivet. Det ses, at for ingen af disse teleskoper er der et godt match mellem pixel størrelse og seeingen størrelse. Og jo større teleskop, des dårligere match. Bemærk også, at fokalplanen bliver større og større – for ELT noget der ligner to skriveborde! – og at uden reduktionen af teleskopets brændvidde ville være umuligt (eller ekstremt kostbart) at dække fokalplanen med CCD’ere.

Teleskop	NOT 2,5 m	VLT 8,2 m	ELT 42 m
F-forhold	F/11	F/13,4	F/15
Skala	136 $\mu\text{m}''$	530 $\mu\text{m}''$	3,04 mm''
1 pixel er lig	0,11”	0,028”	0,005”
10' × 10' fylder	(82 mm) ²	(32 cm) ²	(1,8 m) ²

Tabel 1. Teleskopets skala – “seeingen” – skal altid tilpasses detektorens opløsning der er ca. 15 μm . F-forholdet er forholdet mellem teleskopets brændvidde og teleskopets diameter.

Backbone er designet ved NBI men grundstrukturen er sendt i produktion ude i byen (volumen ca. 1 m³, vægt 500 kg, pris ca. 750.000 DKK) men al “indmad”, dvs. kalibreringssystem, Aquisition and Guide Unit og Preslit Optical Table er designet og fremstillet ved NBIs mekaniske værksted på Rockefeller Institutet. De forskellige enheder er nøje testet hver for sig, både ved stuetemperatur og i en lille fryser. Specielt er testet nøjagtighed og repeterbarhed af alle mekaniske bevægelser og opjusteringen af de to ADC’ere. F.eks. var det for Aquisition and Guide Unit vigtigt at sikre sig, at slædens position kunne fastholdes og repeteres meget nøjagtigt (på μm niveau) i alle mulige position af enheden. Samlingen af hele backbone og oplinereingen af de forskellige komponenter er også foregået ved NBI Rockefeller [4,5].



Figur 7. Test af nøjagtigheden af ADC’ernes bevægelse.

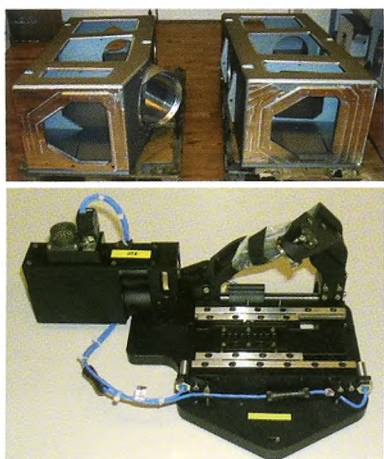
Hele Backbone blev afleveret til ESO-repræsentanter ved en detaljeret afleveringsforretning i november 2007, kaldet “Preliminary Acceptance Europe 1”. Her blev hele Backbone chekket i forhold til en detaljeret “compliance matrix” inden denne del af instrumentet blev godkendt af ESO.

Endelig skal også nævnes NBIs bidrag til UV og VIS spektrograferne. Her var vores opgave det mekaniske design og fremstilling af spektrograf “bænkene”, det vil sige den mekaniske struktur som optikken er monteret på. Selve fremstillingen af bænkene

blev lagt ude i byen. Vi havde også som opgave at designe og fremstille spalte-enheden, der indeholder en slæde med spalter af forskellig størrelse (og alle bevægelser var vores opgave fordi vi også var ansvarlig for den elektronik, der styrede bevægelserne).



Figur 8. Integration af Backbone, optisk laboratorium, Rockefeller Insitutet.



Figur 9. Øverst spektrograf bænken. Nederst den motoriserede slæde med en spalte-plade, der tillader valg af spalter med forskellig bredde.

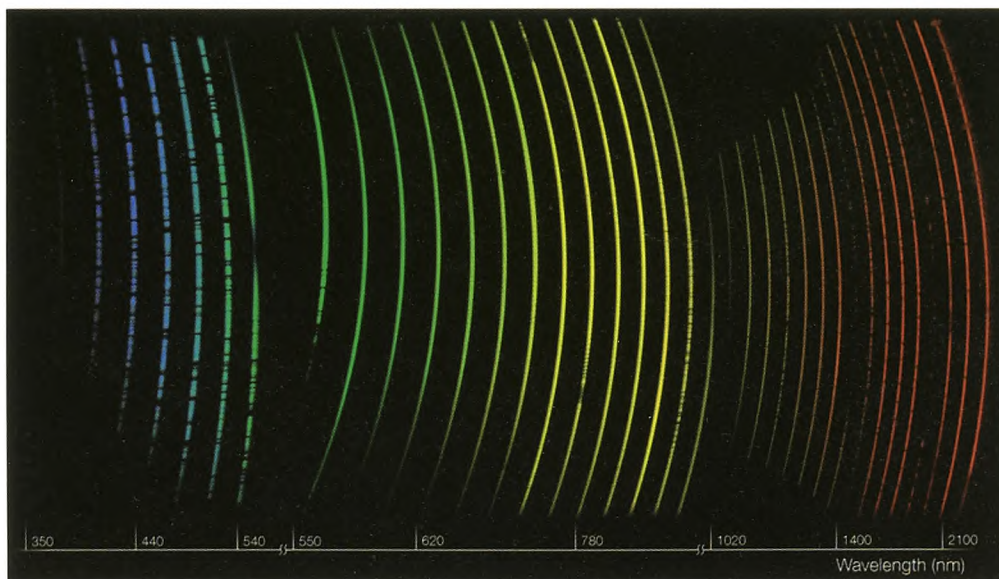
Det videre forløb – integration og afprøvning

De forskellige dele fremstillet af de forskellige konsortiepartnere blev samlet hos ESO i Garching, der nu overtog den videre afprøvning. Nu skulle optik, mekanik, elektronik og software testes sammen. Afprøvningen blev afsluttet med et internt review i juni 2008, hvorefter instrumentet blev sendt til Chile i september 2008.



Figur 10. Afprøvning af X-shooter på en teleskop simulator hos ESO, Garching, juni 2008. Nederst ses den infrarøde spektrograf og over den en af de optiske spektrografer. De to store kasser på hver side af den infrarøde spektrograf indeholder elektronik.

Instrumentet blev monteret på et af VLT teleskoperne og så “first light” i november 2008, i første omgang uden NIR spektrografen, der var forsinket ift. resten af instrumentet. Noget af det rigtig vigtige var at afprøve den samlede effektivitet af hele systemet, der viste sig at leve op til forventningerne, med en samlet effektivitet (inklusive jordens atmosfære og detektorernes følsomhed) på mellem 25 % og 40 % i toppen af echelle-ordnerne. En uhørt høj effektivitet når man tænker på alle de optiske komponenter der er i strålegangen.



Figur 11. Et samlet X-shooter spektrum. Farverne er lagt kunstigt på for at illustrere det blå, det visuelle og det infrarøde spektrum fra de tre spektrografer.

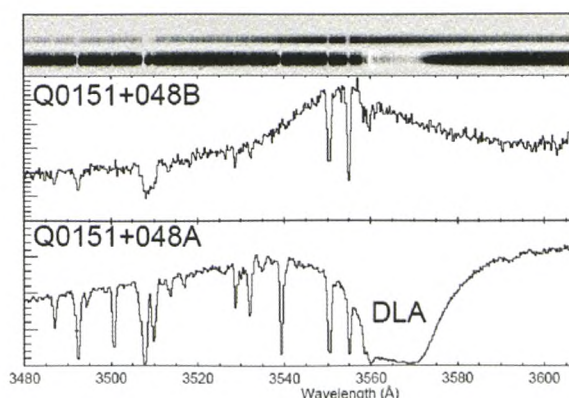
En anden vigtig ting var at afprøve systemet til korrektion af nedbøjningerne i Backbone, der viste sig at fungere som det skulle, endvidere viste det sig at de målte nedbøjninger svarede nogenlunde til hvad beregningerne havde forudsagt. NIR spektrografen kom på i januar 2009, og yderligere afprøvning foregik i april 2009. Intet instrument af den størrelse undgår problemer, det var da også tilfældet her, men alle større og væsentlige problemer er blevet løst og instrumentet er blevet godkendt af den stab af astronomer, der skal betjene instrumentet på Paranal Observatoriet [6,7].

Senest er instrumentets ydeevne blevet testet "ude i hjørnerne" af små programmer foreslået af astronomer fra ESOs medlemslande. Og nu er man så nået frem til at instrumentet tages i officielt brug per 1. oktober 2009. Ansøgningsfristen for at komme i betragtning med projekter man gerne vil have udført på instrumentet var dog allerede 1. april 2009. Her indkom mere end 150 ansøgninger om observationstid, det næsthøjeste på noget VLT instrument. Dette viser, at instrumentet rammer rigtigt i sit koncept. Der er virkelig brug for et instrument af denne art.

Den danske vinkel – videnskab og teknik

X-shooter er specielt velegnet for observationer af variable objekter, fordi hele spekteret observeres på én gang. Hvis dette ikke er tilfældet, når det astronomiske objekt at ændre sig, inden næste spektralområde kan observeres. Dette er selvsagt vigtigt for objekter som supernovaer og gamma ray bursts, der ændrer sig meget hurtigt. En stor del af den danske garanterede observationstid er derfor blevet tildelt astronomer på "Dark Cosmology Centre", der som en af sine hovedaktiviteter har studiet af gamma ray bursts. Men også andre dansk-ledede projekter er blevet tilgodeset.

I første observations runde finder man danske projekter der strækker sig fra "Metal poor stars and the Origin of the first CNO in the Universe", "The cause for the strong UV depletion in carbon-rich AGB stars", over "Studying the diverse nature of faint cluster galaxies" til projekter som "Probing reionization with gravitational telescopes", "The nature of $z \sim 2-4$ galaxies" og "Cosmological mass measurements with X-shooter".



Figur 12. Det ekstraherede spektrum for dobbeltkvasaren Q0151+048.

Johan Fynbo fra "Dark Cosmology Centre" har allerede fået udført nogle observationer af dobbeltkva-

saren Q0151+048, på X-shooter i dennes indkørings- og testfase. Det ekstraherede spektrum omkring den rødforskudte Ly- α ses i figuren ovenfor. Det store dyk mellem 356 og 357nm skyldes en stor gassky der befinder sig mellem kvasaren og os (Damped Lyman- α Absorber), denne sky ses ikke i sigtelinien til den svagere komponent, hvilket giver os oplysning om gasskyens størrelse.

Der er ingen tvivl om, at det store antal garanterede nætter på X-shooter vil give en saltvandsindsprøjtning til dansk astronomi.

Der er heller ingen tvivl om, at den astronomiske instrumentgruppe ved Niels Bohr Institutet har fået et betragteligt løft. Udfordringerne har især været inden for mekanisk design og optik og inden for management og samarbejde. Det er med baggrund i den indhøstede viden og erfaring, at instrumentgruppen nu har kunnet påtage sig en ledende rolle i etableringen af proto-typen til SONG-projektet [8,9] og desuden indgå i et forstudie til et instrument (kaldet OPTIMOS-EVE [10]) til det planlagte 42 m E-ELT teleskop (E-ELT = European Extremely Large Telescope, se [1]).

Litteratur

- [1] Hans Kjeldsen, 2009, Astronomernes Kæmpeteleskoper, Kvant, maj 2009.
- [2] Spano, P. et al. (2006), The optical design of X-Shooter for the VLT, in *Proc. SPIE* bind **6269**, 62692X, *Groundbased and Airborne Instrumentation for Astronomy*, Eds. Ian S. McLean, Masanori Iye.
- [3] D'Odorico, S. et al. (2006), The X-shooter UV- to K-band intermediate-resolution high-efficiency spectrograph for the VLT: status report at the final design review in *Proc. SPIE* bind **6269**, 626933, *Groundbased and Airborne Instrumentation for Astronomy*, Eds. Ian S. McLean, Masanori Iye.
- [4] Michaelsen, N. et al. (2006), The X-shooter spectrograph: a new concept of mechanical assembly for a multiple-arm Cassegrain instrument in *Proc. SPIE* bind **6269**, 62692Z, *Groundbased and Airborne Instrumentation for Astronomy*, Eds. Ian S. McLean, Masanori Iye.
- [5] Rasmussen, P. Kjærgaard et al. (2008), X-shooter-backbone and UV-blue and visible spectrographs: final AIV and measured performances, in *Ground-based and Airborne Instrumentation for Astronomy II*, Edited by McLean, Ian S.; Casali, Mark M. *Proceedings of the SPIE*, bind **7014**, pp. 70143Z-70143Z-13.
- [6] J. Vernet et al. (2007), *ESO Messenger*, **130**, p. 5-7, Coming soon on stage: X-shooter.
- [7] ESO Press Release, <http://www.eso.org/public/outreach/press-rel/pr-2009/pr-20-09.html>
- [8] <http://astro.phys.au.dk/SONG/>
- [9] Powerpoint-præsentationer af Frank Grundahl og Per Kjærgaard Rasmussen, <http://astro.phys.au.dk/SONG/WS2-Material/talks/talks.html>
- [10] <http://www.eso.org/sci/facilities/eelt/instrumentation>

Per Kjærgaard Rasmussen studerer galaksehobes struktur og udvikling. En hovedaktivitet har været bygningen af DFOSC (Danish Faint Object Spectrograph and Camera) til 1,54 m teleskopet på La Silla, Chile, ALFOSC til Det Nordiske 2,5 m Teleskop på La Palma og otte lignende instrumenter til udenlandske teleskoper. PKR har været PI og projektleder på det danske bidrag til X-shooter og er nu projektleder på SONG-teleskopet.



Kaffeskvulp – breddeopgave 36 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, NSM, RUC

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

Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra KVANT nr. 1, 2009, samt en ny opgave. Opgaven i KANT nr. 1, 2009, var denne breddeopgave fra RUC (nr. 36 i rækken her i KVANT):

36. Kaffeskvulp

Hvad er skvulpfrekvensen i en kaffekop? Begrund svaret.

Løsning

For mig ser skvulp i en kaffekop ud som noget i retning af en stående bølge med knudepunkt i koppens midte og buger ved koppens kant og med det dobbelte af koppens diameter (d) som bølgelængde: $\lambda = 2d$. Da der må være tale om en lavtvandsbølge er bølgehastigheden (v) givet ved $v = \sqrt{gh}$, hvor h er højden af kaffen i koppen og g er tyngdefeltstyrken. Derfor er skvulpfrekvensen:

$$f = v/\lambda = \sqrt{gh}/2d \quad (1)$$

Med $h = d = 5$ cm giver det en skvulpfrekvens på ca. 7 sek^{-1} . I betragtning af grovheden i beregningen skal det nok ikke tolkes mere nøjagtigt end, at skvulpfrekvensen ligger i området imellem 1 sek^{-1} og 10 sek^{-1} . Resultatet er i overensstemmelse med den irriterende erfaring, at kaffen nemt skvulper over, når den udsættes for gangfrekvens, som jo ligger i dette område.

Kommentar

Ved vintereksamen 1986 blev opgaven stillet i denne ikklædning:

Med hvilken frekvens skvulper vandet i et stort badekar i forhold til skvulpfrekvensen i et mindre badekar af samme form? Hvad er forholdet, hvis det lille badekar hører til på et badeværelse, og det store er Genevesøen?

Det er en fra min side rigtig dårlig stillet opgave. I det første spørgsmål var det for mig underforstået, at ikke blot det store og det lille badekar er af samme form, men også at de to badekar er ligedannet fyldt med vand. I den situation ses det nemlig alene ved dimensionsanalyse, at skvulpfrekvensen er proportional med $\sqrt{g/d}$. (Svarende til formel (1) med h antaget proportional med d .) Hvorfor svaret på det første spørgsmål så er, at forholdet imellem skvulpfrekvenserne i det store og det mindre badekar er lig med kvadratroden af forholdet imellem den lineære udstrækning af det mindre og det større badekar. Og som sådan er opgaven en god illustration af, hvor slagkraftigt et redskab dimensionsanalyse kan være. Men altså forudsat, at det er

badekarrene sammen med vandet i dem, der har samme form.

Anvendes formel (1) på et badekar med $h = 0,4$ m og $d = 2$ m fås en skvulpfrekvens på ca. $0,5 \text{ sek}^{-1}$, ikke fjærnt fra min badeværelseserfaring. Det passer størrelsesordensmæssigt, at vandet skvulper frem og tilbage i badekarret en gang i sekundet efter at man har rejst sig fra badet. Og med udgangspunkt i den erfaring måtte man svare på spørgsmålet om, hvor lang tid det tager vandet i Genevesøen at skvulpe frem og tilbage, hvis Genevesøen havde nogenlunde samme form som badekarret, at tiden størrelsesordensmæssigt var 1 sekund gange kvadratroden af Genevesøens længde (ca. 100 km) divideret med badekarrets længde (ca. 2 m), hvilket er nogle få minutter.

Men det er forkert at stille spørgsmålet, som om Genevesøen og badekarret har samme form. Genevesøens gennemsnitsdybde er 153 m. Så den er kun tilnærmelsesvis ligedannet med badekarret, når vandhøjden i det er ca. $153 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}/100 \text{ km} \simeq 3 \text{ mm}$. Og det er jo ikke det, der er på tale, når man rejser sig fra badet. Ifølge min bekendte, oceanograf Martin Bohle, som fortalte mig om sit arbejde med vandskvulpet i Genevesøen, drevet af blandt andet tidevandskræfterne, og derved gav mig afsæt til at stille opgaven i 1986, tager det ikke nogle få minutter for vandet at skvulpe frem og tilbage, men 72 til 74 minutter. Indsættes $h = 153$ m og $d = 100$ km i formel (1) fås skvulptiden at være 85 minutter. Altså størrelsesordensmæssig overensstemmelse.

Der var ingen klager over den dårligt stillede eksamensopgave i 1986. Breddeopgavegenren inviterer ikke til det, da eksamenskontrakten ikke går ud på, at der skal svares præcist på et præcist stillet spørgsmål. Derimod skal der svares præcist på et spørgsmål, der skal præciseres af én selv. Men det skal ikke være en retfærdiggørelse af at stille nærmest vildledende spørgsmål, som det var tilfældet her.

Breddeopgave 37. Bordtennis

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra vintereksamen 1986, nr. 37 i rækken her i KVANT):

Hvordan afhænger krumningen af banekurven for en bordtennisbold af dens spin og dens fart? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.

Foreningsnyt – foredrag i efteråret

Foredragskalender

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Sep.				
7/9	19.15	Stardust to planets (på engelsk)	<i>Martin Bizzarro</i>	AS (Kbh)
8/9	17.00	Einstein, Hilbert and the tortuous Way to General Relativity	<i>Leo Corry</i>	VHS
14/9	19.00	Stardust to planets (på engelsk)	<i>Martin Bizzarro</i>	AS (Årh)
14/9	19.30	Liv i Universet	<i>Anja C. Andersen</i>	SNU
22/9	17.00	Rundvisning i udstillingen "Kort, myter og fortællinger – Kortlægningen af de nordligste egne", Diamanten	<i>Christopher J. Ries</i>	VHS
28/9	19.15	Den urolige planet og dens lyde	<i>Bo Holm Jacobsen</i>	AS (Kbh)
Okt.				
5/10	19.00	Den urolige planet og dens lyde	<i>Bo Holm Jacobsen</i>	AS (Årh)
5/10	19.30	Jagten på exoplaneter, Kepler-satellitten m.m.	<i>Uffe Gråe Jørgensen</i>	SNU
20/10	17.00	Reality in Many Worlds? Einstein's Realism and Everett's Quantum Mechanics	<i>Christopher Lehner</i>	VHS
19/10	19.15	Når Månen skælver	<i>Klaus Mosegaard</i>	AS (Kbh)
26/10	19.30	Solsystemets oprindelse – hvor enestående er vi?	<i>Henning Haack</i>	SNU
26/10	19.00	Når Månen skælver	<i>Klaus Mosegaard</i>	AS (Årh)
Nov.				
9/11	19.15	Udforskning af Jordens magnetfelt – fra Ørsted til Swarm	<i>Nils Olsen</i>	AS (Kbh)
16/11	19.30	Livets oprindelse på Jorden	<i>Minik Rosing</i>	SNU
17/11	17.00	Nyere forskning vedrørende Rømers opdagelse af lysets tøven	<i>Kurt Møller Pedersen</i>	VHS
16/11	19.00	Udforskning af Jordens magnetfelt – fra Ørsted til Swarm	<i>Nils Olsen</i>	AS (Årh)
30/11	19.15	Kepler-satellitten og jagten på Jordens tvilling	<i>Rasmus Handberg</i>	AS (Kbh)
Dec				
7/12	19.00	Kepler-satellitten og jagten på Jordens tvilling	<i>Rasmus Handberg</i>	AS (Årh)
7/12	19.30	Liv på Mars	<i>Morten Bo Madsen</i>	SNU

Foredragene afholdes på følgende adresser:

AS (Kbh): Auditoriet, Juliane Maries Vej 30, 2100 København Ø (www.astronomisk.dk)

AS (Årh): Matematisk Inst., Aarhus Universitet, Ny Munkegade, Bygn. 530, Aud. D2, 8000 Århus C

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

VHS, Videnskabshistorisk Selskab: H.C. Ørsted Instituttet, aud. 10, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (www.math.ku.dk/videnskabshistorie)

Astronomisk Selskab

Temaet for efterårets foredragsrække er *Planeten Jorden*. Ud fra hvad vi ved i dag, er Jorden stadig et unikt objekt i Universet – i hvert fald lidt tid endnu. Selvom vi i dag kender op mod 350 planeter i kredsløb om andre stjerner, er der endnu ikke fundet planeter, der helt minder om Jorden. Dette vil dog muligvis ændre sig med den ny-opsendte Kepler-satellit, som skal lede efter jordlignende planeter omkring andre stjerner. Men hvor godt kender vi egentligt vores egen planet? Vi skal i denne foredragsrække høre om vores viden om planeten Jorden og dens drabant, Månen, og om Kepler-satellittens jagt på andre jordkloder.

Foredragene afholdes i samarbejde mellem Astronomisk Selskab, Tycho Brahe Planetarium og Folkeuniversitetet. De er tilrettelagt af Torben Arentoft, Bertil Dorch og Michael Linden-Vørnle.

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Temaet for efterårets foredragsrække er *Liv i Universet*.

Stjernehimlen



Total solformørkelse 22. juli 2009 set fra Anji i Kina

De to første og to sidste billeder viser diamantringen der indleder og afslutter den totale fase. De er taget af Mikael Svalgaard. Billedet i midten af totaliteten er taget af Jan Drewsen. Position: 30° 28' 15" N, 119° 35' 32" Ø.



Andromeda-galaksens virkelige størrelse

Det fjerneste objekt på himlen, vi kan se med det blotte øje er spiralgalaksen Messier 31 i stjernebilledet Andromeda.

Om efteråret ses Andromeda på østhimlen. De mest iøjnefaldende stjerner i stjernebilledet er *Almach*, *Mirak* og *Alpheratz*. Galaksen kan på en mørk og klar nat skimtes som en svagt lysende tåget plet over *Mirak*, den midterste af de tre stjerner. De to svagere stjerner μ And og ν And kan bruges som vejvisere til den fra *Mirak*. I en håndkikkert er den tydelig, selv fra lysforurenede omgivelser.

I virkeligheden fylder galaksen meget mere på himlen end man kan se, selv i en forholdsvis stor stjerneikkert. Faktisk er synsfeltet i de fleste stjerneikkerter for lille til overhovedet at kunne se det hele på én gang.

På optagelser af galaksen kan man se mere af de yderste lyssvage dele af spiralarmene. Her kan man tydeligt se, at kerneområdet lyser meget kraftigere end

de ydre dele. Det er kun de inderste lysstærke dele man kan se med øjet, selv i kikkert. På dybe optagelser kan galaksen fylde op til omkring tre grader, men i virkeligheden er dens udstrækning på himlen omkring fem grader. Det svarer til ti gange Månens diameter. Foto: John Lanoue.





Månens faser



Solsystemet ca. 15. oktober

Kun planeter synlige med det blotte øje er vist nedenfor.
Udenom planetbanerne ses Dyrekredsens 12 stjernebilleder.
Den røde streg markerer Ekliptika - Solsystemets baneplan.

På *morgenhimlen* ses Venus, Saturn og Merkur (indtil 5/11).
På *aftenhimlen* ses Jupiter, Mars og Merkur (efter 5/11).

Astronomiske begivenheder

- 22/9 Efterårsjævndøgn
- 21/10 Stjerneskedssværmen *Oriniderne* kulminerer
- 17/11 Stjerneskedssværmen *Leoniderne* kulminerer
- 13/12 Stjerneskedssværmen *Geminiderne* kulminerer
- 21/12 Vintersolhverv
- 31/12 Partiel måneformørkelse fra 19.52 til 20.54.



Spinkæder som bindeled mellem partikler og strenge

Af Charlotte Fløe Kristjansen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

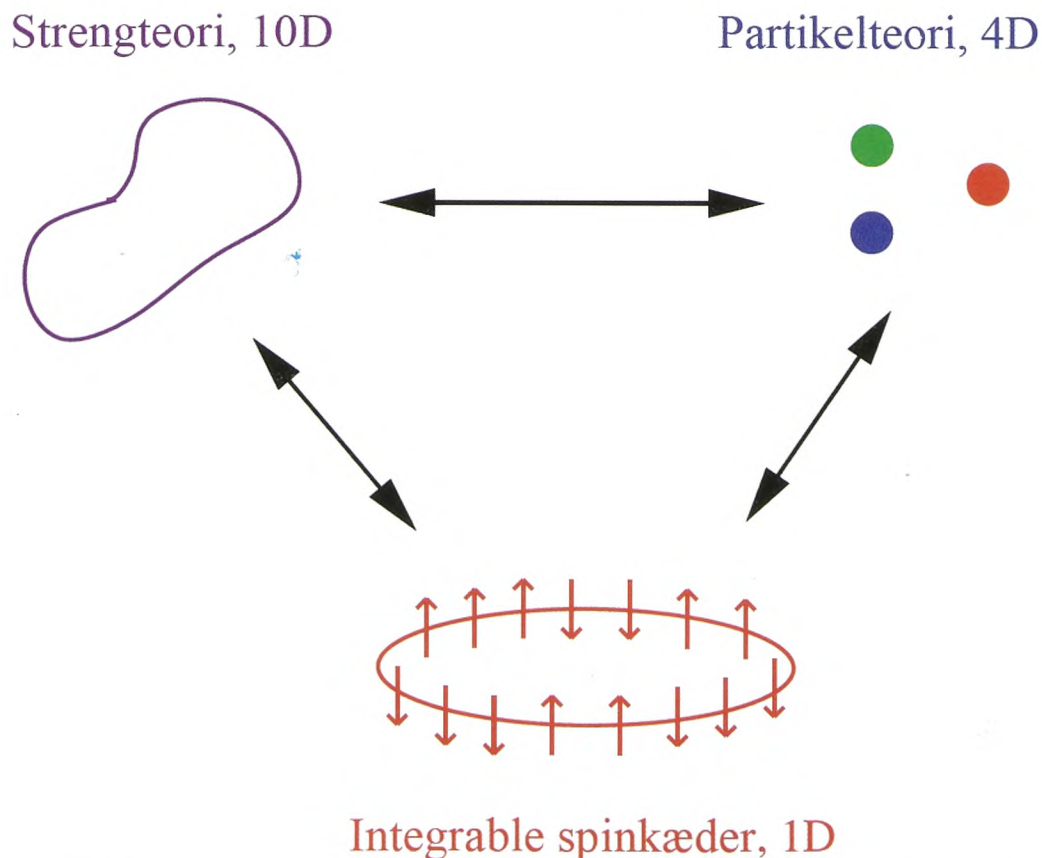
Traditionelt er partikelteorier og strengteorier blevet opfattet som konkurrerende teorier. Ny forskning har imidlertid vist, at simple kvantemekaniske systemer, kaldet spinkæder, kan udgøre bindeledet mellem de to typer af teorier. Som konsekvens heraf må vi nu forstå partikel- og strengteorier som komplementære, sameksisterende teorier.

Introduktion

Hvorledes skal man beskrive naturens mindste energikvanter? Fra et eksperimentelt synspunkt giver det i øjeblikket god mening at beskrive disse som elementarpartikler. Fra et teoretisk synspunkt er der derimod mange fordele ved at betragte naturens fundamentale energikvanter som vibrerende strenge, altså endimensionale objekter. Teorier for strenge har en særlig matematisk skønhed og forener på konsistent vis Bohrs kvantemekanik med Einsteins almene relativitetsteori. Ny forskning har imidlertid vist, at i situationer, hvor særlige symmetrier er til stede, er det ikke nødvendigt at skelne mellem partikel- og strengteorier. Partikler og strenge er simpelt hen to sider af samme sag. En sådan partikel/streng dualitet blev formuleret i form af et "conjecture" af Maldacena allerede i 1998 [1, 2], men

en ny udvikling tog fart for få år siden, da det blev opdaget, at simple kvantemekaniske systemer, kendt som spinkæder, udgør bindeledet mellem partikel- og strengteori [3, 4]. Specielt interessant er det, at disse spinkæder har vist sig at være integrable, altså eksakt løsbare. Dette faktum har ikke alene givet os adgang til hidtil utilgængelige oplysninger om partikel- og strengteori, men også bragt os ekstremt tæt på et bevis for Maldacenas conjecture.

Figur 1 illustrerer den nære relation mellem de tre tilsyneladende meget forskellige typer af teorier, partikelteori, strengteori og teorien for integrable spinkæder. Helt konkret udmønter relationen mellem teorierne sig i, at de tre teorier har det samme spektrum. I det følgende vil vi se nærmere på de tre typer af teorier og specielt diskutere, hvad man forstår ved teoriernes spektrum.



Figur 1. Maldacena har fremsat et "conjecture", som indebærer, at 10-dimensional strengteori er ækvivalent med fire-dimensional partikelteori (øverste vandrette linie). Opdagelsen af, at integrable spinkæder kan danne bindeledet mellem de to typer af teorier, har bragt os ekstremt tæt på et bevis for dette conjecture.

$$A = g_s^2 \text{ (diagram)} + g_s^4 \text{ (diagram)} + g_s^6 \text{ (diagram)} + \dots$$

Figur 2. En spredningsamplitude for lukkede strenge kan skrives som en rækkeudvikling i g_s^2 . Denne rækkeudvikling kaldes for strengteoriens topologiske udvikling, idet den vægter strengenes verdensflader i henhold til deres topologi. Hvert håndtag på verdensfladen giver således anledning til en ekstra faktor g_s^2 . De tre verdensflader afbildet ovenfor har henholdsvis nul, et og to håndtag. Grænsen, $g_s \rightarrow 0$ svarer til frie, ikke vekselvirkende strenge.

Strengteori

I strengteori beskrives naturens mindste byggesten som en-dimensionale objekter, dvs. små strenge. Strenge kan være åbne som et stykke snor eller lukkede som en elastik. Strenge, som optræder i denne artikel, er alle lukkede. Når de en-dimensionale strenge bevæger sig omkring i rumtiden, udspænder de en to-dimensionale flade, som kaldes strengens verdensflade. Strenge, der bevæger sig omkring i rumtiden uden at vekselvirke med andre strenge, benævnes frie strenge. Til at beskrive frie strenges dynamik indfører man i strengteori en eneste parameter. Denne parameter har af historiske grunde fået navnet α' (udtales alfa-prim). Enheden for α' er $(\text{masse})^{-2}$, (i enheder, hvor $\hbar = c = 1$). Makroskopiske strenge, som f. eks. violinstrenger, adlyder den klassiske mekaniks bevægelsesligninger. Mikroskopiske strenge, der skal beskrive naturens mindste bestanddele, må derimod underkastes kvantefysikkens ubestemthedsprincip, og det medfører, at strengene kun kan eksistere i et diskret sæt af energitilstande. De mulige energier for strengene, E_n , bliver naturligvis udtrykt i enheder af $\frac{1}{\sqrt{\alpha'}}$, dvs.

$$E_n = c_n \cdot \frac{1}{\sqrt{\alpha'}}, \quad (1)$$

hvor c_n 'erne er dimensionsløse konstanter. En strengtilstands energi omtales også ofte som strengtilstandens masse. Energi og masse er jo ækvivalente størrelser ifølge Einstein. De mulige energier for strengen kaldes for strengteoriens spektrum, og spektret kan (i princippet) findes ved at diagonalisere strengteoriens Hamiltonoperator. Betragter man grænsen $\alpha' \rightarrow 0$, vil strengteoriens simplificeres betragteligt, idet alle tilstande, som ikke er masseløse, bliver uendeligt tunge. Disse uendeligt tunge tilstande kan man se bort fra i alle processer, som involverer en endelig energi, og man siger, at tilstandene afkobles fra teorien.

Når man vil beskrive vekselvirkende strenge har man brug for endnu en parameter, g_s , i teorien. Denne ekstra parameter kaldes for strengkoblingskonstanten. Vekselvirkningerne foregår ved, at to strenge smelter sammen til en, eller at en streng splittes op i to. I figur 2 er vist en række spredningsprocesser, som involverer to lukkede strenge, dvs. processer, hvor to lukkede strenge mødes, vekselvirker og skilles igen. Som det fremgår af figuren, er der mange måder, hvorpå vekselvirkningen kan finde sted, og skal man beregne sandsynligheden for, at to strenge spredes på hinanden, skal man tage hensyn til alle disse muligheder.

Supergrupper

Et krav til enhver fysisk teori er, at den skal være invariant under translationer af rumtiden og under Lorentztransformationer. Mængden af rumtids-translationer og Lorentztransformationer udgør en gruppe, kaldet Poincarégruppen. Poincarégruppen er en Liegruppe, hvilket betyder, at ethvert gruppemember, g , (som kan forbindes med identiteten), kan skrives som $g = \exp(\alpha_a T^a)$, hvor α_a 'erne er et sæt parametre, og hvor T^a 'erne, der typisk vil kunne repræsenteres som matricer, kaldes gruppens generatorer. Generatorerne for Poincarégruppen er komponenterne af fire-impulsen, der genererer rumtids-translationerne og et sæt af seks operatorer, som genererer Lorentztransformationer. Disse generatorer er alle bosoniske, hvilket for det første betyder, at de kan repræsenteres som matricer bestående af sædvanlige reelle eller komplekse tal, og for det andet at de opfylder visse indbyrdes kommutationsrelationer. Man kan udvide Poincarégruppen til en supergruppe ved at inkludere fermioniske generatorer. Fermioniske generatorer kan ikke repræsenteres ved hjælp af sædvanlige reelle eller komplekse tal, men kræver, at man benytter sig af såkaldte Grassmannvariable, som er antikommuterende objekter. De fermioniske generatorer for en supergruppe opfylder visse indbyrdes antikommutationsrelationer og derudover visse kommutationsrelationer med de bosoniske generatorer.

Sandsynligheden for spredning får man ved at kvadrere den såkaldte spredningsamplitude, og til at beregne denne spredningsamplitude har man visse regneregler. Hvert diagram i figur 2 repræsenterer således en bestemt talværdi, og for at beregne den totale amplitude skal man summere over alle disse talværdier. Specielt gælder der, at man skal gange bidraget fra et givet diagram med g_s , hver gang en streng splittes i to, eller to strenge smelter sammen til en. Amplituderne for vekselvirkning kan derfor skrives som en rækkeudvikling i g_s^2 , og denne rækkeudvikling kaldes for den topologiske udvikling, fordi den organiserer strengenes verdensflader i henhold til deres topologi. Der gælder nemlig, at hvert håndtag på strengenes verdensflade genererer en faktor g_s^2 , se figur 2.

Betrager man grænsen $g_s \rightarrow 0$, simplificerer den vekselvirkende strengteori betydeligt, idet man kun behøver at medtage de første led i rækkeudviklingen. Sammenfattende kan det altså siges, at strengteori er beskrevet ved to parametre, α' og g_s , hvor α' styrer

spektret og g_s den topologiske udvikling. Teorien simplificerer i grænserne $g_s \rightarrow 0$, $\alpha' \rightarrow 0$.

Herudover er der yderligere to væsentlige karakteristika for strengteorien. For det første må strengteorien være supersymmetrisk, dvs. invariant under transformationer beskrevet ved en vis såkaldt supergruppe, se boks. Supersymmetri er nødvendigt, fordi vi ønsker at have både strengtilstande med heltalligt spin (bosoner) og strengtilstande med halvtalligt spin (fermioner). I vores fysiske verden observerer vi nemlig både fermioner og bosoner. Eksempelvis er protoner og elektroner fermioner, mens fotonen er en boson. Uden supersymmetri kan der kun eksistere strengtilstande med heltalligt spin. For det andet må strengteori, for at være kvantemekanisk konsistent, formuleres i flere end fire rumtidsdimensioner. Superstrengteori kræver således en 10-dimensional rumtid. Som vi skal se, er de 10 dimensioner præcis, hvad der skal til for at opnå det perfekte match mellem strengteorien og en fire-dimensional partikelteori.

Partikelteori

De teorier, som man vil teste ved de snarligt forestående eksperimenter ved LHC på CERN, er partikelteorier eller mere præcist kvantefeltteorier. Teoriene er formuleret i fire dimensioner og har en særlig type lokal invarians, gaugeinvarians, som er genereret af en vis Lie gruppe. Denne Lie gruppe kaldes også for teoriens gaugegruppe. I resten af denne artikel vil vi bruge ordet gauge teori synonymt med ordet partikelteori. For de stærke vekselvirkninger er gaugegruppen $SU(3)$, hvor tallet tre angiver antallet af mulige interne kvantetal, kaldet "farver", for teoriens fundamentale partikler, kvarkerne. Gauge teorier har en naturlig generalisering til supersymmetriske gauge teorier, og den gauge teori, som indgår i Maldacenas conjecture, har den maksimalt mulige mængde af supersymmetri.¹ Denne maksimalt supersymmetriske gauge teori benævnes $\mathcal{N} = 4$ super Yang-Mills teori. Det viser sig, at for at indføre den maksimale mængde supersymmetri må man ikke alene indføre nye fermioniske symmetrier, men også ekstra bosoniske symmetrier. For $\mathcal{N} = 4$ super Yang-Mills teori er disse ekstra bosoniske symmetrier beskrevet ved grupperne $SO(6)$ og $SO(2, 4)$. Den ekstra symmetri svarende til gruppen $SO(6)$ kaldes for R-symmetri, og den ekstra symmetri svarende til gruppen $SO(2, 4)$ er den såkaldte konforme symmetri.

Totalt set er teoriens symmetrigruppe supergruppen ved navn $PSU(2, 2|4)$. I en teori med konform invarians er der et specielt sæt af felter, nemlig de konforme felter, som man med fordel kan vælge som en basis for alle teoriens felter. Disse felter er karakteriseret ved at være egenvektorer for teoriens dilatationsoperator, som er den symmetri-generator, der genererer dilatationer af rumtiden. De tilhørende egenverdier kaldes for de konforme dimensioner. En dilatation af rumtiden er en afbildning af typen $\vec{x} \rightarrow \gamma \vec{x}$, hvor γ er en konstant. Under en dilatation af rumtiden vil en et konformt felt,

ϕ , transformere som $\phi \rightarrow \gamma^{-\Delta} \phi$, hvor Δ er feltets konforme dimension.

Gauge teoriens topologiske udvikling

I kvantefeltteori udregnes spredningsamplituder ved hjælp af Feynmandiagrammer, hvoraf nogle eksempler kan ses i figuren nedenfor.

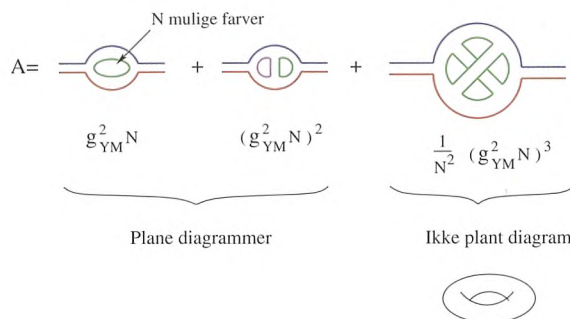


Illustration af gauge teoriens topologiske udvikling

Hvis gaugegruppen for teorien er $SU(N)$, repræsenteres teoriens gaugepartikler, gluonerne, som dobbelte linier, hvor hver linie kan have en af N mulige farver. Man har to typer af vekselvirkninger mellem gaugepartiklerne, en som involverer tre gluoner og en, som involverer fire. I figuren er der, for simpeltheds skyld, kun vist vekselvirkninger af den første type. En vekselvirkning mellem tre gluoner giver anledning til en vægtfaktor g_{YM} , og et loop bestående af en enkelt linie giver en faktor N , fordi loopet kan have N forskellige farver. (Linier, der ikke danner loops, repræsenterer givne begyndelses- og sluttetilstande, og for disse er der kun en mulighed for farven.) Linierne i et Feynmandiagram skal forbindes således, at ingen linier krydser hinanden. For de første to diagrammer i figuren kan dette opnås ved blot at tegne diagrammet i planen, men for det tredje diagram kan dette kun opnås, hvis diagrammet tegnes på en flade med mindst et håndtag. I figuren ovenfor er der vist en flade med netop ét håndtag. En sådan flade kaldes en torus. Til ethvert Feynmandiagram associerer man et genus eller et antal håndtag, nemlig antallet af håndtag på den simpleste flade, hvorpå diagrammet kan tegnes, uden at dets linier krydser hinanden. Man kan nu vise, at gauge teoriens amplituder kan organiseres som en dobbelt rækkeudvikling i λ og $\frac{1}{N}$, hvor potensen af λ svarer til antallet af vekselvirkninger og potensen af $\frac{1}{N^2}$ svarer til antallet af håndtag.

I en klassisk feltteori er felternes konforme dimensioner kendte og kan aflæses ved dimensionsanalyse. F.eks. har et frit skalarfelt i d dimensioner den konforme dimension $\frac{d-2}{2}$. I en kvantefeltteori vil de felter, som er konforme på klassisk niveau, imidlertid ikke være egenvektorer for dilatationsoperatoren, når kvantekorrektioner tages i betragtning. Man er derfor nødt til eksplicit at diagonalisere teoriens dilatationsoperator for at bestemme de konforme felter og deres tilhørende

¹ Der findes mere komplicerede versioner af Maldacenas conjecture, hvor gauge teorien ikke er supersymmetrisk.

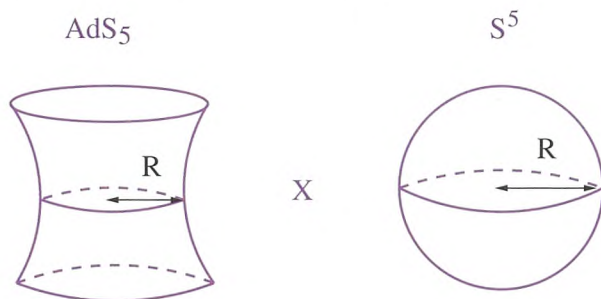
konforme dimensioner. De konforme dimensioner er, hvad man forstår ved den konforme feltteori spektrum.

En supersymmetrisk gauge teori har ligesom en sædvanlig gauge teori en dimensionsløs gauge koblingskonstant, g_{YM} , der bestemmer styrken af teoriens vekselvirkninger. For at gauge teorien skal kunne relateres til en strengteori, har man imidlertid brug for en ekstra parameter, og dette opnår man ved at betragte teorien med gauge gruppe $SU(N)$, hvor N så er den ekstra parameter, der igen kan forstås som antallet af mulige farver. Amplituderne i gauge teorien udtrykkes ved hjælp af Feynmandiagrammer, (se boks), og kan nu skrives som en dobbelt rækkeudvikling i $\lambda = g_{YM}^2 N$ og $\frac{1}{N}$. Specielt får gauge teorien herved ligesom strengteorien en topologisk udvikling, idet ethvert Feynmandiagram tillægges et vist antal håndtag, (se boks), og får en vægtfaktor $\frac{1}{N^2}$ for hvert sådant håndtag.

Gauge teorien simplificerer betragteligt i grænsen $N \rightarrow \infty$, for i denne grænse overlever kun de plane diagrammer. Ligeledes simplificerer teorien i grænsen $\lambda \rightarrow 0$, idet kun de første få led i rækkeudviklingen i λ vil være af betydning.

Maldacenas conjecture

Maldacenas conjecture indebærer, at strengteori og partikelteori blot er forskellige beskrivelser af samme system. For at nå til denne konklusion må man først eliminere den åbenlyse forskel, at strengteori lever i 10 dimensioner og partikelteori kun i fire. Dette gøres ved at vælge et helt specielt 10-dimensionalt rum som strengens baggrund. Det perfekte 10-dimensionale rum er et produktrum af to fem-dimensionale rum, nemlig S^5 og AdS_5 . Her er S^5 den sædvanlige 5-dimensionale kugle, som specielt har positiv krumning overalt, og AdS_5 er det 5-dimensionale anti-de-Sitter rum, som har negativ krumning overalt, se figur 3.



Figur 3. Når strengteorien defineres på et 10-dimensionalt rum, som er et produktrum bestående af det fem-dimensionale anti-de-Sitter rum, AdS_5 , og den fem-dimensionale kugle, S^5 , matcher strengteoriens symmetriegenskaber præcist partikelteoriens symmetriegenskaber. Randen af AdS_5 er identisk med vores fire-dimensionale Minkowski rum.

Det springende punkt i denne konstruktion er, at det fem-dimensionale anti-de-Sitter rum (i en vis forstand) har en rand, som er vores fire-dimensionale Minkowski rum. Idéen er så, at vi og gauge teorien lever på den 4-dimensionale rand af det 5-dimensionale anti-de-Sitter rum og opfatter strengens ekstra rumtidsfrihedsgrader

som nogle indre frihedsgrader for vores system. Det her beskrevne 10-dimensionale produktrum er ikke blot et "tilfældigt" rum, som har vores fire-dimensionale Minkowski rum som underrum. Rummet er specielt designet til at matche symmetrierne af den maksimalt supersymmetriske gauge teori. Der gælder nemlig, at isometrigruppen, dvs. gruppen af afstandsbevarende koordinattransformationer, for S^5 præcis er R-symmetrigruppen $SO(6)$, og isometrigruppen for AdS_5 præcis er den konforme gruppe i fire dimensioner, $SO(2,4)$. Totalt set bliver strengens symmetrigruppe $PSU(2,2|4)$, altså den samme som for gauge teorien.

Nu er der blot det tilbageværende problem, at strengteorien har en dimensionsfuld koblingskonstant α' , mens begge gauge teoriens parametre er dimensionsløse. Dette problem kan elimineres ved at indføre en karakteristisk længdeskala, R , for strengteoriens baggrund. For S^5 kan R direkte ses som kuglens radius, men også for AdS_5 kan R opfattes som en radius. Maldacenas conjecture siger, at med disse konstruktioner er gauge teorien og strengteorien identiske, hvis deres parametre identificeres på følgende måde

$$\frac{R^2}{\alpha'} = \sqrt{\lambda}, \quad g_s = \lambda \cdot \frac{1}{N}. \quad (2)$$

Identifikationen af teoriene involverer naturligvis også en identifikation af teoriernes "observable". En given strengtilstand identificeres med et gauge invariant, konformt felt, der typisk vil være et produkt af mange elementære felter, og strengtilstandens energi identificeres med feltets konforme dimension.

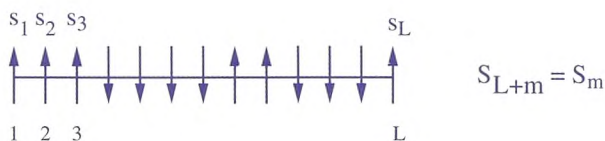
Ligning (2) fortæller os, at den topologiske udvikling for henholdsvis gauge teorien og strengteorien er nært relaterede. Specielt vil det at betragte gauge teoriens plane grænse, dvs. grænsen $N \rightarrow \infty$ (men λ endelig), svare til at betragte frie strenge, dvs. $g_s \rightarrow 0$. I det følgende vil vi begrænse os til at diskutere den plane gauge teori og den dermed ækvivalente frie strengteori. Den relevante relation mellem teoriernes parametre er dermed den første relation i ligning (2). Af denne relation ses det, at Maldacenas conjecture relaterer den simple grænse af gauge teorien ($\lambda \rightarrow 0$) til den komplicerede grænse af strengteorien ($\frac{\alpha'}{R^2} \rightarrow \infty$) og vice versa. Dette er ekstremt interessant, for det betyder, at såfremt Maldacenas conjecture er korrekt, kan vi finde svar på komplicerede spørgsmål i gauge teori ved at udføre simple beregninger i strengteori, og omvendt kan vi finde svar på komplicerede spørgsmål i strengteori ved at udføre simple beregninger i gauge teori. En sådan type sammenhæng mellem to teorier kaldes også for en stærk/svag-koblingsdualitet.

Det blev oprindeligt anset for meget svært at konstruere et bevis for Maldacenas conjecture. Gauge teorien kunne man kun studere perturbativt, dvs. ved en rækkeudvikling for små λ . For strengteorien var situationen ikke bedre, idet man ikke engang vidste, hvorledes man skulle kvantisere den frie streng på rummet $AdS_5 \times S^5$. Man kunne kun studere strengteorien semi-klassisk og finde spektret som en rækkeudvikling

i parameteren $\frac{a'}{R^2}$, som ifølge Maldacena skal identificeres med $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$. Det giver tydeligvis ikke meget mening at sammenligne de første få led i en rækkeudvikling i λ med de første få led i en rækkeudvikling i $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$. Opdagelsen af, at vejen fra gaugeteori til strengteori kunne gå via integrable spinkæder, ledte imidlertid til et gennembrud.

Integrable spinkæder

Spinkæder blev oprindeligt opfundet af faststoffysikere til at modellere metallers magnetiseringssegenskaber, men har altså nu fundet anvendelse inden for teoretisk højenergifysik. Spinkæder er en-dimensionale gitre, hvor der til hvert gitterpunkt er knyttet en kvantemekanisk spin-variabel. Det simpleste eksempel på en spinkæde er den såkaldte Heisenberg spinkæde, hvor variablene er kvantemekaniske spin-1/2 variable, se figur 4.



Figur 4. Heisenberg spinkæden med spin-1/2 variable på hvert gitterpunkt. En given spinkonfiguration svarer til en strengtilstand i den 10-dimensionale strengteori og et produkt af felter i den fire-dimensionale gaugeteori.

Som sædvanlige kvantemekaniske systemer er Heisenberg spinkæden beskrevet ved en vis Hamiltonoperator, H . Denne tager formen

$$H = \lambda \cdot \sum_{i=1}^L (1 - P_{i,i+1}), \quad (3)$$

hvor L er spinkædens længde og $P_{i,i+1}$ permutationsoperatoren, som permuterer spinnene på plads i og $i+1$. Spinkæden har vekselvirkninger mellem nærmeste naboer, og vekselvirkningernes styrke er bestemt af koblingskonstanten λ .

Som for andre kvantemekaniske systemer er man ved studiet af spinkæder interesseret i at diagonalisere systemets Hamiltonoperator, dvs. finde dens egenverdier og egenvektorer. Det er klart, at systemets grundtilstand er en tilstand, hvor alle spin er ensrettede, og at denne tilstand har energien, $E = 0$. Tilstanden, hvor f.eks. spinnene på plads i og j er flippet, er imidlertid ikke en egentilstand, idet Hamiltonoperatoren vil transformere tilstanden til en linearkombination af andre tilstande med 2 spin flippet. Man er derfor nødt til eksplicit at diagonalisere Hamiltonoperatoren i rummet af tilstande med to spin-flip. Komplikationerne ved en eksplicit diagonalisering bliver værre, jo flere spin, som er flippet. En "brute force" diagonalisering af Hamiltonoperatoren er typisk kun mulig for små værdier af L , men visse spinkæder, deriblandt Heisenberg spinkæden, er integrable, og for disse kæder kan diagonaliseringsproblemet reduceres til et langt mere

overkommeligt problem, nemlig løsningen af et sæt algebraiske ligninger, kaldet Bethe-ligningerne. At en spinkæde af længde L er integrabel, er ensbetydende med, at der eksisterer $L - 1$ bevarede ladninger i form af operatorer, som alle kommuterer med Hamiltonoperatoren og med hinanden.

Det viser sig nu, at den plane version af dilatationsoperatoren for den ovenfor omtalte supersymmetriske gaugeteori kan identificeres med Hamiltonoperatoren for en integrabel spinkæde [3, 4]. Hvor Heisenberg spinkæden er baseret på symmetrigruppen $SU(2)$, er den spinkæde, som er relevant for den fulde $\mathcal{N} = 4$ super Yang-Mills teori, baseret på symmetrigruppen $PSU(2, 2|4)$. Dette indebærer, at spinnene i stedet for blot at kunne flippe fra "ned" til "op" kan exciteres fra en vis laveste tilstand til 16 forskellige exciterede tilstande.

Spinkæden med længde L beskriver mængden af sammensatte felter af længde L , dvs. produkter af L elementære felter, og en hver mulig konfiguration af spin for spinkæden svarer til en bestemt rækkefølge af felter i produktet. Rækkefølgen er ikke ligegyldig, idet de elementære felter ikke kommuterer. At finde de konforme sammensatte felter og deres tilhørende konforme dimensioner i gaugeteorien bliver derfor ækvivalent med at finde egenvektorer og egenverdier for spinkæden, dvs. at løse et sæt algebraiske Bethe ligninger. Regner man til et-loop orden i gaugeteorien, dvs. til orden λ , har spinkæden kun vekselvirkninger mellem nærmeste naboer. Til orden λ^n har spinkæden vekselvirkninger mellem $n + 1$ nærmeste naboer. Dilatationsoperatoren for den plane gaugeteori kan vises at være integrabel op til mindst tre ledende ordener i λ for visse underrum af sammensatte felter (og til et-loop orden for alle typer af sammensatte felter). Under antagelse af, at den fulde plane teori er integrabel til alle loop ordener kan man ved hjælp af symmetriargumenter nedskrive et sæt Bethe ligninger, som er gyldige for alle værdier af λ . Disse Bethe ligninger kan man løse for store λ og sammenligne med det resultat, man får fra den semi-klassiske analyse af strengteorien, hvor det i øjeblikket er muligt at regne til tre ledende ordener i $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$. Det viser sig, at resultaterne stemmer overens. Omvendt kan man under antagelse af, at den frie strengteori er integrabel, hvilket i øjeblikket kan bevises til ledende orden i $\frac{1}{\sqrt{\lambda}}$, forudsige resultater i den perturbative gaugeteori. Disse forudsigelser er blevet bekræftet til fire ledende ordener i λ ved eksplicite, meget krævende, fire-loop gaugeteorieregninger. Hermed er man ekstremt tæt på at have bevist Maldacenas conjecture.

Sammenfatning

Højst overraskende har det vist sig, at en-dimensionale spinkæder, der oprindeligt blev opfundet af faststoffysikere til at beskrive metallers magnetiseringssegenskaber, har kunnet anvendes til at forstå sammenhængen mellem partikel- og strengteori. Da Maldacena i 1998 fremsatte sit conjecture om, at 10-dimensional strengteori var ækvivalent med fire-dimensional gauge-

teori, syntes det umuligt at finde et bevis for dette conjecture, fordi det relaterede den let tilgængelige, dvs. perturbative, grænse af gauge-teorien til den svært tilgængelige, dvs. ikke-perturbative, grænse af streng-teorien og vice versa. Ved at udnytte en bestemt spinkædes integrabilitetsegenskaber er vi imidlertid kommet ekstremt tæt på et bevis for Maldacenas conjecture. Spinkædens spektrum, som kan findes eksakt, kan vises at ekstrapolere mellem spektret af den perturbative strengteori og spektret af den perturbative gauge-teori. Dette betyder, at strenge og partikler blot er to sider af samme sag, og vejen er banet for, at man kan besvare komplicerede spørgsmål angående naturens mindste energikvanter ved hjælp af relativt simple manipulationer med integrable spinkæder.

Litteratur

- [1] J. M. Maldacena, *The large N limit of superconformal field theories and supergravity*, Adv. Theor. Math. Phys. **2** (1998) 231 Int. J. Theor. Phys. **38** (1999) 1113, hep-th/9711200.
- [2] J. Maldacena, *The illusion of gravity*, Scientific American, Vol. 295, Pages 56-63, November 2005.

- [3] J. A. Minahan and K. Zarembo, *The Bethe-ansatz for $N = 4$ super Yang-Mills*, JHEP **0303** (2003) 013, hep-th/0212208.
- [4] N. Beisert, C. Kristjansen, and M. Staudacher, *The dilatation operator of $\mathcal{N} = 4$ super Yang-Mills theory*, Nucl. Phys. B **664** (2003) 131, hep-th/0303060.
- [5] For en samling af oversigtsartikler om emnet, se C. Kristjansen, M. Staudacher and A. Tseytlin (eds.), *Integrability and the AdS/CFT correspondence*, special issue of J. Phys. A: Mathematical and Theoretical, Vol. 42, no. 25, 2009.



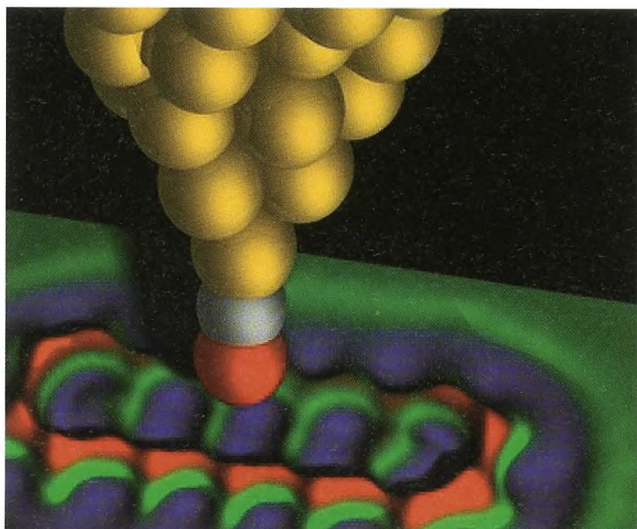
Charlotte Fløe Kristjansen er lektor i gruppen for teoretisk højenergifysik og kosmologi ved Niels Bohr Institutet. Hendes nuværende forskningsområde er integrable spinkæder samt relationen mellem partikel- og strengteori. Tidligere har hun arbejdet med diskrete modeller for kvantegravitation og med "random matrices".

KVANT-nyheder

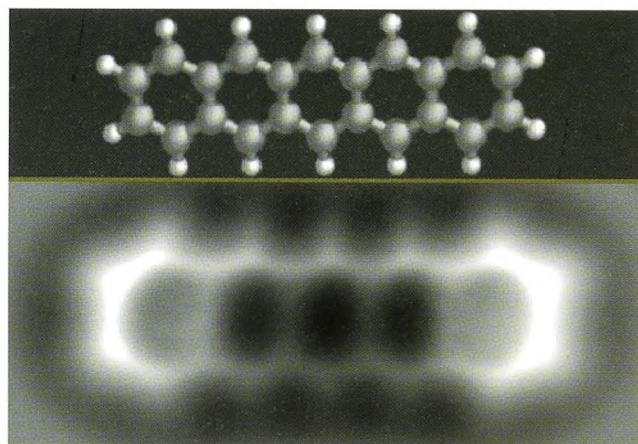
Af Sven Munk og John Rosendal Nielsen, KVANT

AFM ser atomer i molekyler

ATOMFYSIK. Med AFM (Atomic Force Microscopy) i en forfinet version er et molekyle blevet afbildet atom for atom. IBM's forskningslaboratorium i Schweiz oplyser, at man har konstrueret et AFM med en opløsningsevne på 0,14 nm. Billedet herunder viser den geometriske udformning af sensordelen i et AFM. Det afgørende for opløsningsevnen er spidsens udformning. Ved at lade denne bestå af et lille molekyle – kul-mono-oxid (den røde kugle) – ser det ud til, at det ultimative er nået.



Under spidsen ses det molekyle, der skal udmåles. Her drejer det sig om et pentacen-molekyle, der består af 22 kulstof- og 14 hydrogen-atomer. For at bestemme de meget svage kræfter mellem spidsen og det undersøgte molekyle, må det hele køles ned til 5 K. De kræfter, der skal registreres, angives i pikonewton (pN).



Herover ses en computer model af et pentacen-molekyle og det billede, som kan skabes med det forbedrede AFM-instrument. Om den fantastiske opløsning kun kan opnås, når det undersøgte molekyle er fladt, er ikke oplyst.

Kilde: "The Chemical Structure of a Molecule Resolved by Atomic Force Microscopy", L. Gross et al., Science 325, 1110 (2009) (<http://www.sciencemag.org/cgi/content/abstract/325/5944/1110>).



Brorfelde er sat til salg!

ASTRONOMI. Brorfelde Observatoriet, der ejes af København Universitet, er sat til salg. Observatoriet har en unik placering med nattemørke, hvilket gør stedet perfekt til astronomiske observationer. Området er på 40 hektar med 15 bygninger og ligger cirka 10 km fra Holbæk. Det er kendt for at ligge meget smukt, der findes ikke mange tilsvarende steder i Danmark.

Brorfeldes Vennekreds, med mag. scient. Hans Jørn Fogh Olsen i spidsen, håber på at lokaliteten bliver fredet. Området såvel som bygningerne er af en unik karakter og de håber, at det bliver fredet. Fredningen bakkes op af naturfredningsforeningen, Friluftsrådet, Foreningen for Bygnings- og Landskabskultur samt lokale grupper og kommunen. De håber at Brorfelde kan benyttes til fritidsaktiviteter.

Brorfeldes Vennekreds har i forbindelse med redningsforsøget fremstillet en film om stedets historie, og de har sendt filmen til alle folketingets medlemmer i håbet om at det vil vække politikernes interesse for bevarelse af dette fantastiske område. Man kan selv hente filmen på foreningens hjemmeside.

Kilder: www.brorfelde.dk; ing.dk/artikel/101982-historisk-dansk-observatorium-sat-til-salg.

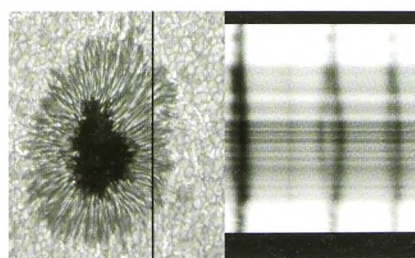
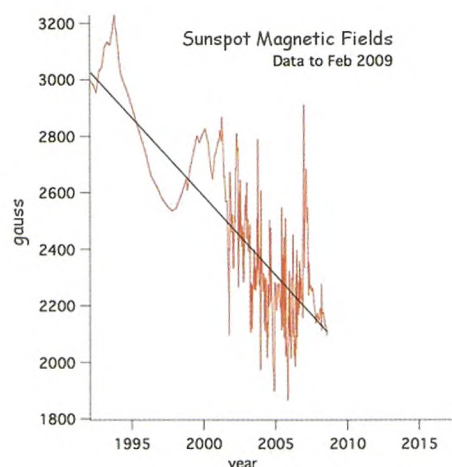
Er det slut med Solpletterne?

ASTRONOMI. De, der observerer Solen for øjeblikket, vil være klar over, at Solen oplever et minimum af antal solpletter for øjeblikket. Der kan gå hele måneder uden der er selv den mindste solplet på Solens overflade, og dette har fået forskerne til at overveje, om solpletter vil forsvinde helt.

Matt Penn og Bill Livingston fra National Solar Observatory i Tucson har de sidste 17 år målt magnetfeltet i solpletterne, og de har fundet eksperimentelt bevis for at magnetfeltets styrke af solpletterne er aftaget i dette tidsrum. Styrken er i gennemsnit aftaget med omkring 50 gauss for hvert år. Der opstår ikke solpletter på Solen uden et stærkt magnetfelt, og målingerne indikerer, at solpletter kun opstår, når magnetfeltet har en styrke på over 1500 gauss.

Teknikken til bestemmelsen af magnetfeltets styrke er relativ ny, hvilket betyder at man kun har måledata for de sidste 17 år. Man måler en speciel effekt i spektrere fra de magnetiske solpletter, hvor spektrallinier

splittes i to. Effekten er opkaldt efter den hollandske fysiker Pieter Zeeman, der opdagede fænomenet i 1890'erne. Størrelsen af liniernes opsplitting angiver magnetfeltets størrelse. Den nye teknik gør, at man kan måle på infrarøde linier i modsætning til tidligere, hvor man kun målte på linier i den synlige del af solpletternes spektrum. De infrarøde linier er langt mere følsomme overfor Zeeman-effekten og giver derfor mere præcise målinger.



Der er ingen forskere, der betvivler Livingston og Penns målinger, der viser et klart fald i magnetfelternes styrke. Det kontroversielle ved Livingston og Penns arbejde er deres forudsigelse om, at solpletter helt vil forsvinde. Denne ekstrapolation tror de nu heller ikke helt selv på, men den har bragt sindene i kog. Der har tidligere været solplettfrie perioder – det mest kendte er Maunder minimum, hvor Solen var solpletfri i 70 år fra 1645 til 1715. Om der er tilsvarende perioder som Maunder minimum i vente, det vil tiden vise.

Kilde: http://science.nasa.gov/headlines/y2009/03sep_sunspots.htm?list-1340696; <http://www.leif.org/EOS/2009EO300001.pdf>.

Lyn rækker ud efter universet

GEOFYSIK. Forskere i USA havde held til at fotografere et 75 km langt lyn. Den elektriske udladning foregik mellem ionosfæren og troposfæren. Steven Cummer, Duke University, fortæller, at trods dårlige betingelser, fuldmåne og dis, havde de held til under stormen "Christobal" at lave en optagelse af et lyn, som strakte sig ud fra toppen af tordensky ca. 10 km over jordoverfladen. Lynets anden ende var ionosfæren 90 km oppe.

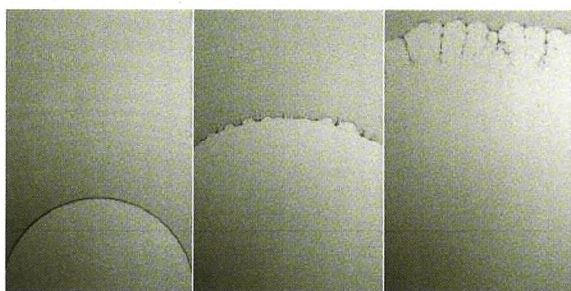


Udover lysudsendelsen lykkedes det forskerne at måle magnetfeltet, som strømmen i lynet frembringer. Ud fra måledata blev den samlede ladningsmængde, som flyttes, beregnet til 144 As (Coulomb). Mere almindelige, jordnære lyn flytter ladninger af nogenlunde samme størrelseorden.

Kilde: "Quantification of the troposphere-to-ionosphere charge transfer in a gigantic jet", Steven A. Cummer et al., Nature Geoscience, doi: 10.1038/ngeo607 (<http://dx.doi.org/10.1038/ngeo607>).

Bristende sæbebobler

BOBLEFYSIK. Når sæbebobler svæver i rummet ser man fluktuerende farveskift i selve hinden. Det er samme fænomen som det, der i dagligt sprog omtales som Newtons ringe. At der sker farveskift betyder at hindens tykkelse ændrer sig – bliver tyndere. Til sidst brister boblen. Dette fænomen er nu gjort til genstand for en nærmere undersøgelse.



En ny erkendelse er, at umiddelbart før hinden brister, begynder den at vibrere. For at komme til den afklaring, skal der bruges et højhastighedskamera, som kan levere 25.000 billeder per sekund. Oscillationerne starter 100 ms før boblen brister. Der dannes dråber af det, der umiddelbart før var en del af hinden. I artiklen peges på, at de beskrevne mekanismer kan øge forståelsen af processer, som danner aerosoler.

Kilde: "Soap Films Burst Like Flapping Flags", Henri Lhuissier und Emmanuel Villermaux; Physical Review Letters, Vol. 103, Art.Nr: 054501, doi: 10.1103/PhysRevLett.103.054501.

Opportunity øjner meteor på Mars

PLANETFYSIK. Vågne forskere, som var ved at styre den rullende Mars-robot hen over et fladt terræn, fik øje på en mørk klump forude. Med et alfa-partikel-spektrometer kunne det ret sikkert fastslås, at genstanden var af jern.

Af dette følger så videre, at det er en jernmeteorit, som – spekulerer forskerne – måske er havnet på Mars for flere milliarder år siden. Meteorittens hovedmål er 60 × 30 cm og dermed den største af sin art, som er fundet på Mars. Ved nærkontakt med meteoritten kunne man se, at der var et tyndt lag støv på overfladen. Skrabedes der lidt i dette lag dukkede der noget metalglinsende op.



En forsker har luftet den tanke, at denne meteorit måske er landet på Mars på et tidspunkt, hvor atmosfæren var tættere end nu. Argumentet er, at hvis meteoritten ramte Mars nu, ville den bremsende virkning af atmosfæren ikke være særlig stor og derfor ville den blive knust til småstykker ved sammenstødet med Marsoverfladen.

Kilde: <http://www.nasa.gov/news/index.html>.

Kæmpestjernen Betelgeuse taber sig

ASTROFYSIK. Målinger med ESOs Very Large Telescope (VLT) har afsløret, at Betelgeuse er omgivet af en kæmpe gassky på størrelse med vort solsystem. Gassen udstrømmer fra stjernen og er således udtryk for at denne taber i vægt.



Betelgeuse, en af de mest lysstærke i konstellationen Orion (jægeren), er en rød supergigant. Den er endda en af de største kendte stjerner og 1000 gange større end vor sol. Radius af Betelgeuse er således som afstanden fra solen og (næsten) ud til Jupiters bane. På ranglisten over stjerners lysstyrke befinder den sig også helt i toppen. Udtrykt med tal svarer det til, at den lyser som

100.000 sole. For stjerner af den konstitution gælder mottoet: lev stærkt og dø ung. Med en alder på et mogle millioner år har stjernen allerede nået pensionsalderen. Astronomerne har forudsagt, at den ender sine dage som en supernova. Til den tid kan den ses på himlen selv i dagslys.

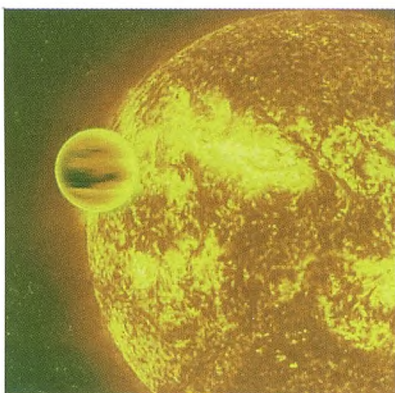
Det er for astronomerne fortsat lidt af et mysterium hvorfor og hvordan stjernen kan udspy så meget stof, at det svarer til én sol på 10.000 år. Billedet af betelgeuse omgivet af en gassky har kun kunnet laves med anvendelse af den mest avancerede astronomiske teknik. Med ESOs VLT (spejldiameter på 8,2 m) kombineret med adaptiv optik (NACO) er der opnået en opløsningsevne på 37 milli-buesekunder – hvilket er tæt på det teoretisk opnåelige.

En opløsningsevne som er 4 gange bedre (mindre) blev tilvejebragt ved hjælp af et par 1,4 m spejle, der via systemet AMBER realiserede interferometriske målinger. Her svarer opløsningsevnen til det man ville kunne opnå med et teleskopspejl på 40 m. Denne måling er så fintfølede, at den kunne afsløre hastigheden af gassen forskellige steder i skyen. Forskerne mener at kunne fastslå, at strømningerne i gasskyen har en turbulent karakter.

Kilde: Science release ESO 27/09.

Sælsom kæmpeplanet

ASTRONOMI. Astronomer har opdaget en stor planet, som omkredser sin stjerne på 22,5 timer. Dette stjerneplanet system befinder sig i stjernebilledet Fønix 325 lysår borte. Planeten selv er tildelt betegnelsen (navn er vel for meget sagt?) "WASP-18b". Planetens eksistens blev afsløret ved den regelmæssige variation, der optræder i intensiteten af lyset fra stjernen, når planeten skygger mere eller mindre.



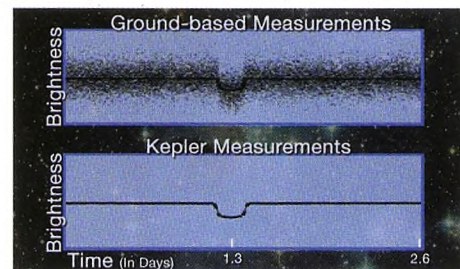
Afstanden mellem centralstjerne og planet er beregnet til 3 mill. km. Med en masse, som svarer til $10 \times$ Jupiters, er det tillige en meget tung planet. Koblingen mellem planet og stjerne giver sikkert anledning til noget der ligner "tidevandseffekter", der så vil reducere planetens hastighed. Forskerne søger nu efter beregningsmetoder, som kan sætte tal på afbremningen. Imidlertid er der enighed om, at planeten meget snart vil blive opslugt af centralstjernen. 1 million år.

Kilde: tidsskriftet Nature (ultimo aug. 2009) Douglas Hamilton, University of Maryland.

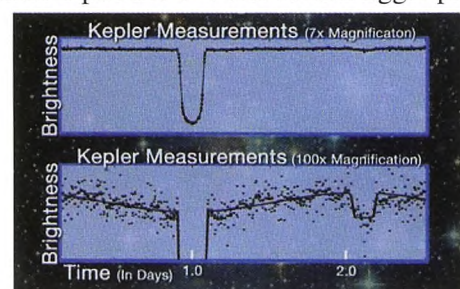
Kepler afslører exoplanets atmosfære

ASTRONOMI. NASA's nye exoplanetjagende rumteleskop, Kepler, har allerede haft sin første succes, og det er før den er kommet med afsløringer af nye exoplaneter. Kepler har fundet en atmosfære omkring en allerede kendt exoplanet, der kredser omkring stjernen HAT-P-7.

Exoplaneten, der kaldes for HAT-P-7b, var allerede kendt og skulle bruges til at undersøge om Kepler er følsom nok til at finde exoplaneter af Jordens størrelse. På figuren ovenfor ses testmålingerne fra Kepler, der strækker sig over 10 dage. De er sammenlignet med målinger fra et jordbaseret teleskop, og man kan tydeligt se at Kepler giver et langt mere klart billede af lysstyrken.



På figuren nedenfor ses en forstørrelse af lysstyrkemålingerne af HAT-P-7, hvor den øverste kurve er forstørret syv gange, mens den nederste kurve er forstørret 100 gange. Planeten passerer ind foran stjernen, hvor der er et kraftigt dyk (til venstre) på kurven. På hver side af dykket falder og stiger jævnt, hvilket tolkes som tilstedeværelsen af en atmosfære på HAT-P-7b. Det lille dyk (nederste kurve til højre) er der, hvor planeten passerer bagom stjernen. Ud fra dybden af dette lille dyk og udformningen af lysstyrkekurven har forskerne kunne beregne temperaturen af HAT-P-7b's atmosfære på dagssiden til ca. 2.380 °C. Den høje temperatur er ikke overraskende, da planeten ligger 26 gange tættere på HAT-P-7 end Jorden ligger på Solen.



Det er meningen, at Kepler skal lede efter exoplaneter ved løbende at tage billeder af det samme område på himlen mellem stjernebillederne Lyren og Svanen. Med de løbende observationer kan astronomerne overvåge mere end 100.000 stjerner. Kepler kan afsløre om stjernerne bliver svagere i et kort tidsrum, hvilket opstår når en planet bevæger sig ind foran (eller bagved) stjernen og os. Kepler skal indsamle data i mindst 3 1/2 år. De indledende testoptagelser lover godt for Keplers fremtid som exoplanetjagende rumteleskop.

Kilde: www.tycho.dk/article/view/5532; www.nasa.gov/mission_pages/kepler/news/kepler-discovery.html.

Aktuelle bøger

Af Henrik Peter Bang og Michael Cramer Andersen

100 års matematikundervisning

Af: *Hans Christian Hansen, Ole Haahr, Hans Nygaard Jensen, Tine Wedege, Ivan Tafteberg Jakobsen, Christian Thybo, Ellen Stengaard Munkholm, Søren Antonius, Tage Gutmann Madsen og Ole Groth Jørsboe*, "Matematikundervisningen i Danmark i 1900-tallet". Syddansk Universitetsforlag 2008, 945 sider (to bind), 598 kr. <http://www.universitypress.dk>.

Det – som det fremgår ovenfor – ganske omfattende værk er blevet til på initiativ af den danske komite for Unescos Matematikverdensår 2000. Forfatterne er i høj grad aktører fra den sidste tredjedel af det århundrede bogen omhandler idet, der er en del fagkonsulenter, medlemmer af matematik kommissionen, formænd eller bestyrelsesmedlemmer fra faglige foreninger mm.

Det er både bogens styrke og (lille) svaghed. Først og fremmest imponeres man over et uhyre grundigt og meget veldokumenteret værk, der omhandler matematikundervisningen i Danmark på alle niveauer fra folkeskolen til de videregående uddannelser. Dokumentation hentes mange steder – fra bekendtgørelser og udvalgsbetænkninger, fra oplæg i faglige foreninger, fra lærebøger og opgaver og fra biografier og skønlitterære fremstillinger hvor matematik undervisning indgår.

Der er en guldgrube af oplysninger og materiale for den der vil fordybe sig yderligere og som vil prøve at se sammenhænge og modsætninger både på langs af århundredet og i uddannelsessystemet. Det vil åbenbares, at en hel del aktuelle didaktiske diskussioner – f.eks. om forholdet mellem praktisk anvendelse og mere formel og struktureret opbygning af matematikken har lange rødder, men også at der med blandt andet det stærkt voksende indtag af elever i de gymnasiale uddannelser er sket udviklinger som med nødvendighed har forandret både vilkår for undervisningen og praksis.

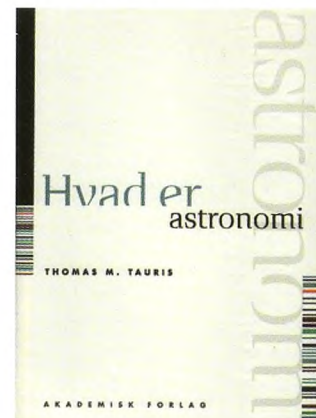
På nogle områder – f.eks. afsnittene om de videregående uddannelser eller diskussionerne omkring funktioner og kontinuitet i afsnittet om gymnasiet – forudsættes det at læseren har et temmelig indgående kendskab til matematik og matematikundervisning – mens andre afsnit f.eks. dem om grundskolen eller voksenuddannelse kan læses noget mere forudsætningsløst.

Nogle steder kunne man ønske at formen havde været noget mere diskuterende f.eks. ved at der var flere synsvinkler på samme problemkreds, her spiller den lille svaghed jeg nævnte før måske ind – der er meget stor indsigt i hvordan beslutninger og udredninger er foregået, men der mangler nogle steder lidt bredere perspektiver – det være sig refleksioner over kontrol og styringsmekanismer i skolesystemet herunder i matematik eller internationale udviklinger f.eks. omkring pensum, pædagogik og didaktik.

Med det sagt anbefales bogen til anskaffelse på skolebiblioteker mm. Det kunne være interessant med

en tilsvarende dokumentation af naturfagsundervisningen – mens nogle af aktørerne fra sidste århundrede stadigt kan bidrage.

Henrik Peter Bang
Christianshavns Gymnasium



Introduktion til astronomi

Af: *Thomas M. Tauris*, "Hvad er astronomi?". Akademisk Forlag 2009, 232 sider, 199 kr. <http://www.akademisk.dk>.

Denne bog er skrevet for alle med interesse for astronomi. I syv kapitler giver forfatteren en engageret beskrivelse af Universets opbygning og udvikling samt astronomiens fundament, historie og centrale rolle i moderne naturvidenskab. Formålet med bogen er at flere skal nyde synet af nattehimmelen og lade tankerne flyde ud i kosmos. Det er meget prisværdigt og helt i astronomiårets ånd.

Selvom bogen ikke indeholder billeder eller diagrammer bliver man hurtigt fanget af teksten, der er medrivende. Der er enkelte tabeller, symboler, enheder og 10'er potenser, men formler og tekniske forklaringer er gemt i bogens slutnoter. Forfatteren har desuden samlet en række billeder til bogen på www.HvadErAstronomi.dk.

En af de ting der gør astronomiens historie interessant er de mange anekdoter og bogen er rig på disse. Bogen kommer meget vidt omkring og forklarer mange komplicerede emner bl.a. inflationskosmologi, partikelfysik, astrobiologi og den kommer med kritiske kommentarer til bl.a. ormehuller som middel til tidsrejser og det stærke antropiske princip, der hævder at Universet eksisterer fordi vi er her.

Forfatteren er astrofysiker med speciale i pulsarer og han har den ene fod i forskningsverdenen samtidig med at han underviser i gymnasiet. Han har således de bedste forudsætninger for at formidle astronomien letforståeligt uden at gå på kompromis med det faglige og det er lykkedes rigtig godt!

Michael Cramer Andersen

Rejsen til århundredets længste totale solformørkelse i Kina den 22. juli 2009

Af Janaki Lund Jensen, Niels Bohr Institutet, Astro-gruppen Stjerner og Galakser

At overvære en total solformørkelse er et privilegium ikke alle mennesker får mulighed for. Du kommer aldrig til at glemme oplevelsen, når Månen med ufattelig præcision glider ind mellem Solen og Jorden. Åndeløst følger du den magiske stemning, når Månens skygge sniger sig ind over landskabet, som lades tilbage i et uvirkeligt skumringslys. Stjernerne lyser op på den mørke himmel, fuglene stopper med at synge, og temperaturen falder mærkbart.

Den 14. juli tog jeg af sted på min 8. totale solformørkelsesrejse til Kina. Jeg rejste sammen med solformørkelsesekspert Fred Espenak fra NASA og en gruppe fra et amerikansk rejsebureau. Jeg har tre gange rejst med ham på solformørkelsesrejserne i 1998 i Caribien, 2008 i Kina og 2009 i Kina.

Fred Espenak er den ultimative solformørkelsesekspert og derfor jeg vælger jeg at rejse på solformørkelses-rejser, hvor han er med. Fred Espenak er ansat på NASA Goddard Space Flight Center og han laver solformørkeshæfter til hver enkelt solformørkelse med detaljer om beregninger og diverse data om solformørkelsen som hæftet udgives til. Så når jeg vælger at rejse med ham, så er jeg ret sikker på at have de optimale betingelser for kunne komme til at se solformørkelsen. Hvis Fred Espenak ikke kan finde det rette sted så kan ingen andre. Selvfølgelig kan han ikke garantere for vejret, som er en meget vigtig faktor, når man skal se en total solformørkelse.

Vi havde oprindeligt planlagt at skulle se den totale solformørkelse fra toppen af et hotel i byen Haiyan som ligger ud til kysten nær Shanghai. Tirsdag den 21. juli om formiddagen skulle vi have kørt til Haiyan for at være klar til den totale solformørkelse, men vi kunne se at vejrforholdene så ud til at være meget meget dårlige der, så vi var nødt til at tage plan B i brug. Fred Espenak gav os muligheden for enten at tage med vores turistbusser til byen Haiyan som planlagt eller at flyve til Chongquin for at se den totale solformørkelse der. Alle 37 personer på rejsen var i samme sekund fuldstændige enige i at de selvfølgelig ville flyve derhen, hvor Fred Espenak ville være. Med en uvurderlig hjælp af nogle fantastiske lokale kinesiske rejsearrangører fik vi inden for et par timer købt 37 flybilletter med afgang samme eftermiddag og med en flyvetur på over 1200 km til byen Chongquin. Den totale solformørkelse ville dog ikke vare 5 minutter og 50 sekunder som i Haiyan, men i stedet 4 minutter og 9 sekunder. Men det ville være bedre at have chancen for at se den end slet ikke. Og det ville stadig blive min længste totale solformørkelse.

Kl. 8.00 om morgenen var vi klar og der var ryddet et område på en parkeringsplads foran hotellet til os 37 personer, arrangørerne og hotelpersonale. Uden for vores område, som var mærket op med et rødt bånd, stod nogle lokale kinesere, som også gerne ville se be-

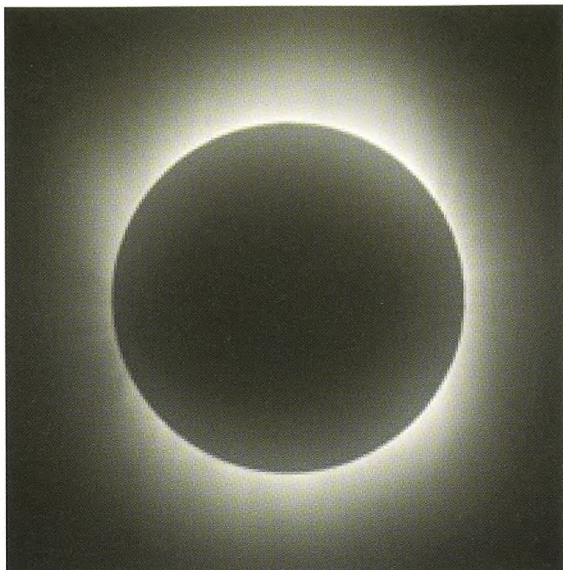
givenheden. Vi lånte dem solformørkelsesbriller og fortalte lidt om, hvad de forhåbentlig ville komme til at opleve.

Jeg har aldrig kamera eller teleskop med. Jeg vil helst nyde de intense minutter som jeg kan uden at jeg skal spille tid på at tage billeder som alligevel ikke bliver til noget som helst i forhold til de billeder som personer, der har stor erfaring og viden om det kan tage. Jeg kender mange solformørkelsesfolk som jeg nemt kan få nogle perfekte billeder af. Jeg har et videokamera med som jeg lader stå et sted og det optager imens totaliteten finder sted, så jeg bagefter kan få stemningen der hvor solformørkelsen er. Det er en meget væsentlig del at opleve hvordan folk, dyr og planter reagerer når f.eks. lyset falder mærkbart og det bliver noget koldere. Det er meget levende at se en videofilm bagefter, da jeg så får lydene og reaktionerne fra mennesker som oplever solformørkelsen og jeg kan virkelig se, hvordan lyset ændre sig. Men der er ingen billeder eller videofilm som kan vise, hvordan en solformørkelse virkelig er at se på. Den skal opleves med det blotte øje.



Kl. 8.08 tog Månen den første lille bid af Solen og solformørkelsen var i gang. Solformørkelses-brillerne blev brugt flittigt til hele tiden at følge med i når Månen langsomt spiste af Solen. Kl. 9.30 kom den første Diamantring (som er det sidste lys der kommer fra dale på Månens overflade) og så var solformørkelsen total. Det var helt vildt fantastisk og jeg kom til at græde af glæde over at have fået lov til endnu engang, at se dette utroligt smukke naturfænomen. Da der var gået 4 minutter og 9 sekunder kom noget af det smukkeste man kan forestille sig, den sidste Diamantring og dermed det første lys

fra Solen. De næste 1 time og 30 minutter gled Månen stille og roligt væk fra Solen igen. Vi var alle lykkelige og jublede af glæde over at have set den totale solformørkelse så godt, trods de meget dårlige vejrforhold på flere af de steder i Kina, hvor solformørkelsen kunne ses.



Totaliteten.

Jeg har nu set 8 totale solformørkelser (Borneo 1995, Caribien 1998, Bulgarien 1999, Afrika 2001, Australien 2002, Ægypten 2006, Kina 2008 og Kina 2009) og 3 ringformede solformørkelser (Panama,

Madrid og Fransk Guyana). Det er noget som jeg aldrig vil blive træt af at se så længe jeg lever. Ingen af de solformørkelser som jeg har set har været ens fordi jeg har set dem på så mange forskellige steder på Jorden og blandt så mange forskellige mennesker. Det er gået i blodet på mig at være med til at jage solformørkelserne rundt om på Jorden. Solen er aldrig den samme. Det er en stor gaskugle som hele tiden er fuld af aktivitet. Det er en stor oplevelse at kunne iagttage Solen med dens smukke og fantastiske korona som man ikke har mulighed for at se i almindeligt dagslys pga. det skarpe lys. Det er sjovt at kunne se stjerner og planeter midt om dagen. Diamantringen er helt ubeskrivelig smuk at se og jeg rejser gerne af sted år efter år for at se den.

Jeg er allerede i gang med planlægningen af mine næste to solformørkelser. Den ringformede solformørkelse i Indien den 15. januar 2010 og den totale solformørkelse i Stillehavet den 11. juli 2010.



Janaki Lund Jensen er amatørastonom og kontorfuldmægtig på Niels Bohr Institutet, Astro-gruppen Stjerner og Galakser.

RINGFORMET SOLFORMØRKELSE I SYDINDIEN

Viktors Farmor arrangerer en rejse til den ringformede solformørkelse der rammer Sydindien i januar. Den 15. januar 2010 oplever vi en ringformet solformørkelse ved Kanyakumari på Indiens sydspids. Formørkelsen varer ca. 10 minutter.

Udover højdepunktet med betragtning af den ringformede solformørkelse, rejser vi rundt i Sydindien, hvor vi besøger storslåede paladser og pilgrimsbyer med 1000 år gamle tempelkomplekser.

Vi skal desuden op i Nilgiri bjergene for at opleve landsbyer omgivet af smukke landskaber præget af bjerge, dale, nåleskov og grønne teplantager samt besøge landsbyer beboet af den oprindelige befolkning.

Langs kysten besøger vi hyggelige byer med koloniale bygninger og tager på sejltur på backwaters – et net af kanaler og søer omgivet af palmer.

Vi afslutter rejsen med et par dages badeferie ved en af Sydindiens bedste badestrande med blåt hav, vajende kokospalmer og fine små bugter.

4. til 18. januar 2010
Pris: 17.900 kr.

Ledere:
Janaki Lund Jensen og
Mikael Svalgaard

Begge er amatørastonomer og har erfaring fra mange solformørkelser. Janaki har stort kendskab til Indien. Mikael medbringer udstyr så vi kan betragte formørkelsen i alle dens faser.



Tlf: 86 22 71 81

info@viktorsfarmor.dk

www.viktorsfarmor.dk

Totale solformørkelser nu og i fremtiden

Af Michael Cramer Andersen, Christianshavns Gymnasium og KVANT

En total solformørkelse er et af de smukkeste og mest mærkværdige naturfænomener man kan opleve. Har man først set Solens korona under gode betingelser bliver man nemt grebet af en stærk trang til at rejse afsted for at opleve det igen. Hver totale solformørkelse er desuden unik. Den foregår et nyt sted, har forskellig varighed og koronaen ser forskellig ud. I denne artikel forklares nogle af de astronomiske forhold der gør de totale solformørkelser så interessante og de kommende års totale solformørkelser diskuteres.

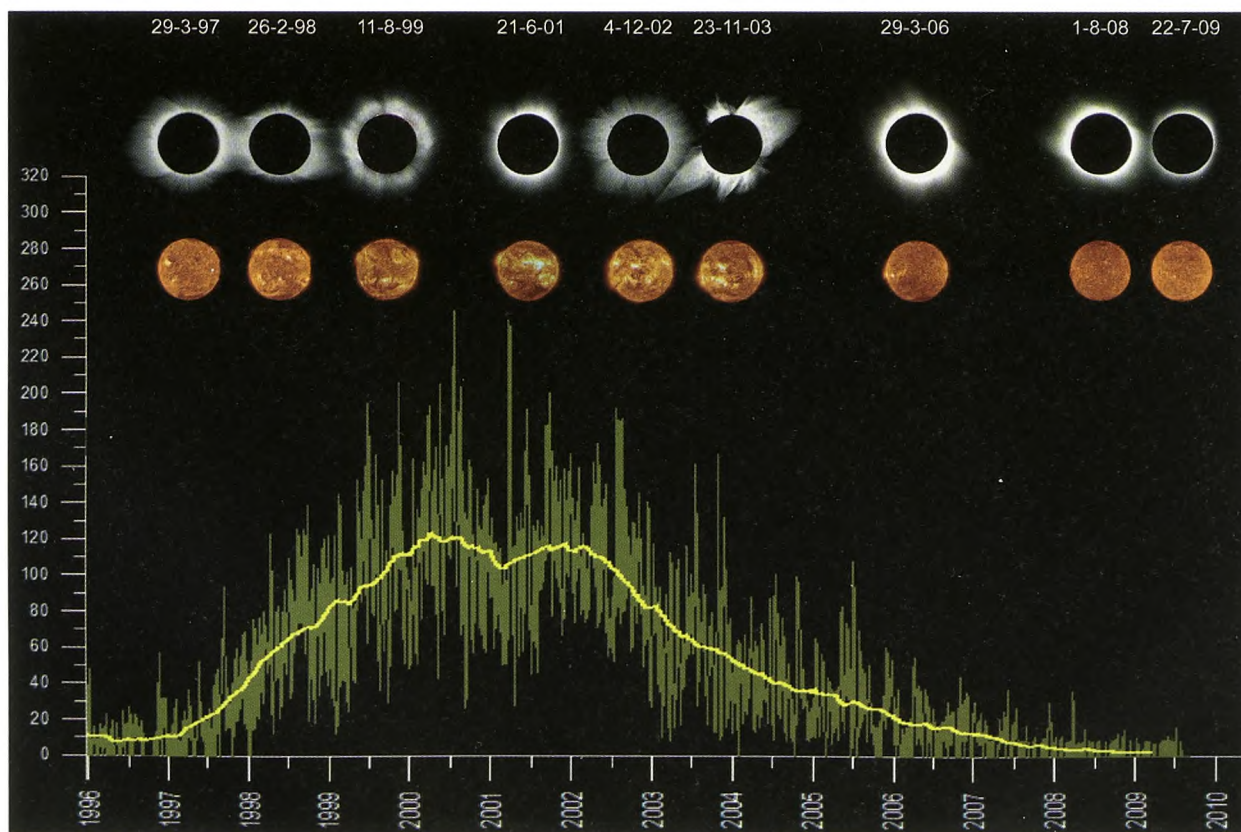
Astronomisk set er totale solformørkelser bl.a. interessante fordi man kan observere Solens korona direkte, når Månen dækker for solskiven. Koronaen er Solens yderste atmosfære som kan strække sig mere end én mio. km ud i rummet. Den tynde gas i koronaen er ioniseret fordi temperaturen er mere end én million grader. Til daglig overblændes det svage lys fra koronaen af lyset fra Solens overflade og det spredte lys i Jordens atmosfære. En solformørkelse skal være total for at koronaen kan observeres. Ved ringformede solformørkelser, hvor f.eks. 99 % af Solen er dækket, kan koronaen ikke ses og det bliver heller ikke mørkt.

I en *koronograf* blændes Solen kunstigt af, men koronaen ses blandet sammen med sollys spredt i atmosfæren. Dette kan undgås i rummet og SOHO-satellitens koronograf observerer dagligt den ydre del

af koronaen. Men for at beskytte detektoren er blænden noget større end Solen og dækker den indre del af koronaen. Solfysikere kan desuden ud fra målinger af Solens magnetiske aktivitet løbende beregne (og forudsige) aktiviteten i Solens korona [4]. Billederne af lysintensiteten i koronaen ligner ofte koronaen ganske godt, men selv solfysikere foretrækker den ægte vare og placerer ofte deres konferencer under totale solformørkelser.

Koronaens udseende følger Solens aktivitet

Koronaen ser ikke altid ens ud. En flot oversigt findes i [2]. I perioden 1996-2009, svarende til den sidste solpletcyklus, har der været 9 totale solformørkelser (se figur 1). Både koronaens form og Solens magnetiske aktivitet varierer igennem en cyklus. Koronaen er rigere på detaljer ved høj aktivitet som i 1999-2003.



Figur 1. Grafen viser antallet af solpletter i den sidste solpletcyklus på ca. 11 år. På de 9 datoer med totale solformørkelser er koronaen vist sammen med et billede af Solen taget med SOHO-satellitten [3] samme dag. Jo højere magnetisk aktivitet Solen har (ses som lyse områder på de orange billeder) jo flere solpletter og jo flere detaljer er der typisk i koronaen. SOHO-billederne er optaget i ultraviolet lys (30,4 nm) udsendt fra stærkt ioniseret helium i overgangszonen mellem kromosfæren og koronaen.

Saros-perioden

Saros-perioden var kendt af babylonske astronomer flere hundrede år før vor tidsregning. En Saros er: $223 \cdot 29, 530589 \text{ dage} = 6585,32 \text{ dage} = 18,03 \text{ år} = 18 \text{ år, 11 dage og 8 timer}$. Eccentriciteten af Månens bane (ca. 0,055) er væsentligt større end eccentriciteten af Jordens bane (ca. 0,0167), så Månens bevægelse har størst betydning for, hvordan en solformørkelse bliver. Der er to andre 'måneder', udover den synodiske, som er vigtige:

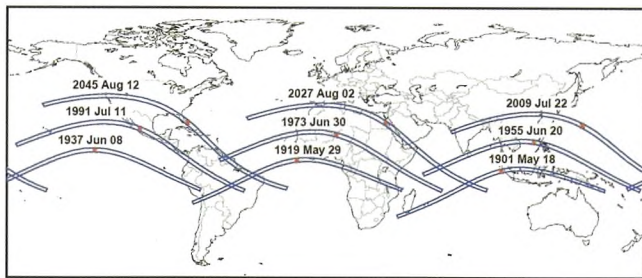
- **Den synodiske måned:** $S = 29, 53059$ dage er defineret fra nymåne til nymåne. Solformørkelser kan kun ske ved nymåne og denne periode har derfor betydning for om der bliver en formørkelse eller ej.

- **Den anomalistiske måned:** $A = 27, 55455$ dage regnes fra perigæum til perigæum, som er det punkt hvor Månen er nærmest Jorden og derfor fylder mest. Denne periode har altså betydning for hvor meget Månen dækker for Solen. Månens bane er hverken fast orienteret i forhold til Solen eller stjernerne men drejer langsomt rundt – én omgang på 18,61 år og tidspunktet for perigæum skrider derfor hele tiden.

- **Den drakoniske måned:** $N = 27, 21222$ dage går fra ét af knudepunkterne, hvor Månens bane skærer Jordens bane, til det samme knudepunkt. Da Månens baneplan hælder ca. 5° i forhold til Jordens baneplan vil Månens skygge ved de fleste nymåner passere over eller under Jorden. Jo tættere Månen er på et af de to knudepunkter (opstigende eller nedstigende) jo tættere vil spidsen af Månens kegleformede kerneskygge være rettet mod Jordens centrum og give en solformørkelse.

Ved noget der ligner en tilfældighed bliver et helt antal af de to andre måneder tæt på én saros-periode, forskellen er kun få timer, og det gør saros-perioden meget praktisk:

- 239 anomalistiske måneder = $239 \cdot A = 6585, 54$ dage.
- 242 drakoniske måneder = $242 \cdot N = 6585, 36$ dage.



Figur 2. Ni spor af totale solformørkelser i Saros-serie 136, der producerer de længste totale solformørkelser i det 20. og 21. århundrede. Serien kulminerede i 1955 med 7 min. og 8 sek. og er nu aftagende. Formørkelsen den 22. juli 2009 var den længste, med 6 min. og 39 sek. i det 21. århundrede hvorfor den blev kaldt "Århundredets solformørkelse". Bemærk hvordan sporet gentager sig efter 18,03 år, men flyttet knap 120 grader mod vest hvilket skyldes, at Jorden har drejet $1/3$ omgang (pga. de 8 timer i Saros-perioden). Kort: Fred Espenak, NASA/GSFC [5].

Forudsigelse af solformørkelser

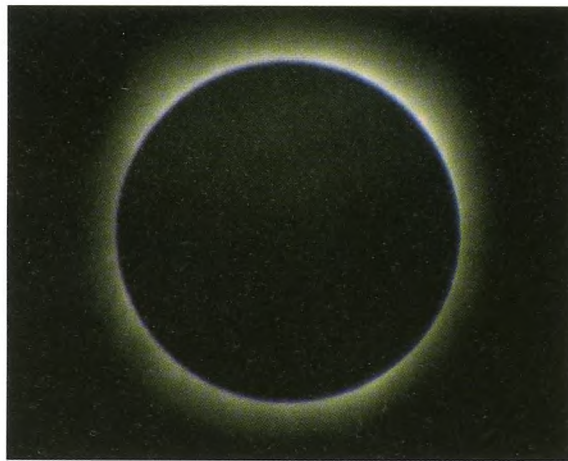
Man kan forudberegne solformørkelser ved hjælp af den såkaldte *Saros* (se boks) som er 223 synodiske måneder (regnet fra nymåne til nymåne) eller 18 år, 11 dage

og 8 timer. Efter én Saros-periode vil der indtræffe en solformørkelse *under meget lignende forhold*, idet afstande og retninger imellem Solen, Jorden og Månen kun er ændret en lille smule. Den største forskel er, at datoen bliver ca. 11 dage senere og formørkelsesbæltet ligger ca. 120° mod vest (se figur 2). Har man observeret én solformørkelse kan man derfor beregne datoer og placeringer for en hel serie formørkelser før og efter. Der er 39 saros-serier i gang sideløbende, hver med 70-82 formørkelser fordelt på 1226-1551 år.

Astronomi og meteorologi mødes

For at maksimere varigheden af den totale fase skal man forsøge at stå tæt på centerlinien og så tæt på punktet for maksimal varighed af totaliteten som muligt. Men andre forhold gør ofte dette til et uegnet sted, f.eks. hvis det er hav eller svært tilgængeligt, vådt klima eller politiske forhold.

Meteorologen Jay Andersen [6] har specialiseret sig i at beregne sandsynligheden for skydække langs formørkelsesbæltet, men det må understreges at der er stor forskel på klima og vejr. På det "optimale sted" kan der sagtens være dårligt vejr den pågældende dag, mens det er meget bedre et andet sted. Man bør derfor følge vejrudsigterne i dagene op til og være fleksibel så man eventuelt kan køre (eller flyve) til et sted med bedre vejr. Denne store kontrast mellem astronomiens præcise forudsigelser af stedet og tidspunktet og den store usikkerhed om vejret er med til at gøre hele fænomenet meget spændende. Når det så lykkes at se en total solformørkelse er der grund til at fejre det.



Figur 3. Totaliteten den 22. juli 2009 i Anji, Kina.

22. juli 2009 Kina – århundredets længste

Den 22. juli 2009 kunne man se den længste totale solformørkelse i dette århundrede (se figur 2 og 3). Mellem 4-500 danskere rejste til Kina med forskellige rejse-selskaber. Desværre var det midt i monsunen, hvor vejret er varmt, fugtigt og meget omskifteligt. I Shanghai var der regn og flere af selskaberne var uheldige og så kun skyer og regn. Gæsterne der rejste med Viktors Farmor og Københavns Astronomiske Forening, i alt ca. 150 danskere, stod samme sted og var mere heldige. De tætte morgenskyer forsvandt næsten helt, så man kunne observere totaliteten i 5 min og 35 sek.

De kommende års totale solformørkelser

11. juli 2010 – Stillehavsøer og Sydamerika

En noget eksotisk total solformørkelse. På sin vej henover det sydlige Stillehav passerer den kun over få øer. Punktet for længste totalitet (5 min, 20 sek) er over hav. Corona Adventure har arrangeret en meget eksklusiv tur til Cook-øerne, hvor totaliteten varer 3 min og 19 sek. På de små øer ved Tahiti i fransk Polynesien varer totaliteten ca. 4 minutter. Påskeøen er den største landfaste lokalitet med en totalitet på 4 min og 41 sek. Imidlertid er alle rejser hertil udsolgt trods stærkt forhøjede priser. Formørkelsen ender i det sydlige Chile og Argentina – kort før solnedgang i et bjergigt område om vinteren. Totaliteten er her 2 min. og 45 sek.

13. november 2012 – Australien

Det nordøstlige Australien er det eneste fastland formørkelsen kan ses fra. Nær byen Cairns varer totaliteten godt 2 minutter. Der er endnu ikke regntid, men der falder ca. 3 mm om dagen og temperaturen er godt 30 °C. Punktet med maksimal totalitet (4 min, 2 sek) er over hav og hvis man vil opleve omkring 3 minutters totalitet skal man flyve til den lille ø Norfolk Island, nordvest for New Zealand og sejle 200 km mod nordøst til centerlinien. Se [7] for flere detaljer.

3. november 2013 – Centralafrika

En hybrid solformørkelse, der starter som ringformet i Atlanterhavet og hurtigt bliver total. Totaliteten varer længst (1 min. og 40 sek) lidt sydvest for Elfenbenskysten. Ved den afrikanske vestkyst lidt syd for Ækvator (Gabon), varer totaliteten ca. 1 minut og på vej gennem det centrale Afrika bliver den kortere jo længere mod øst man er. Det er desværre regntid, i kystbyen Libreville i Gabon falder der 16 mm om dagen i november og temperaturen er ca. 28 °C. Der er mere tørt længere inde i Gabon eller i Congo og Uganda. I Kenya varer totaliteten under 25 sekunder.

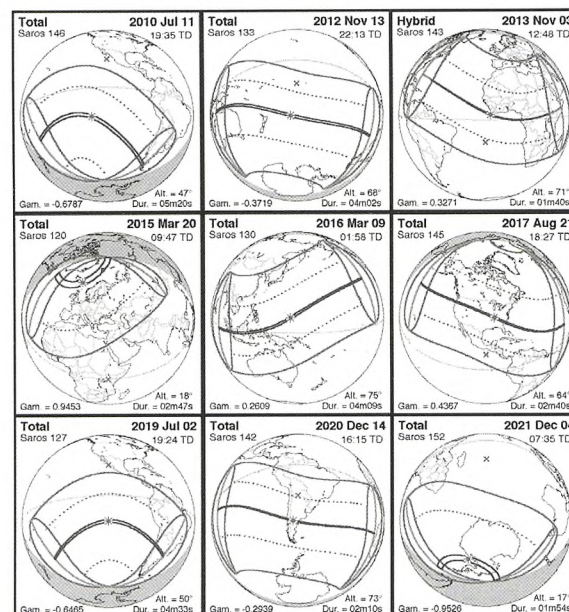
20. marts 2015 – Færøerne og Svalbard

Den næste totale solformørkelse på vores breddegrader starter syd for Grønland og bevæger sig mod nordøst henover Færøerne. Punktet for længste totalitet (2 min, 47 sek) ligger 250 km nord for Færøerne. På Færøerne varer totaliteten op til 2 min og 22 sek afhængig af hvor tæt man er på centerlinien. Totaliteten indtræffer blot tre timer efter solopgang og Solen står meget lavt (under 20°). På Færøerne er der ofte tåge eller regn. I marts er der ca. 4 °C, frisk til hård vind (8-13,8 m/s) og 6 mm regn om dagen i gennemsnit. Der er kun ca. 4 soltimer pr. dag ud af de teoretiske 12 lyse timer ved jævndøgn. Det bliver noget af en gyser, men hvis vejret er godt venter der en fantastisk oplevelse. Solen vil have en høj aktivitet, hvilket kan give en flot korona. Er der morgentåge, bør man stå på et af de høje fjelde som rager op over tågen. Er der spredte skyer vil Månens skygge køle atmosfæren, så de går i opløsning, men hvis det regner er der ikke så meget at gøre. Længere nordpå, på Svalbard, varer totaliteten ca. 2 min. og 28 sek. Men man skal lige finde et egnet sted mellem gletsjerne. I marts er der -15 °C og der falder under 1 mm regn om dagen. I Danmark er formørkelsen 80 %.

Solens korsfarere

På verdensplan er der flere tusinde personer der er ramt af solformørkelsesfeber og i Danmark findes der også adskillige mennesker som lever og ånder for at rejse ud

og se totale solformørkelser. Det er spændende at høre dem fortælle om tidligere solformørkelser og man udvikler et særligt fællesskab. Rekordholderen er nok Fred Espenak, eller "Mr. Eclipse", der så sin 22. totale solformørkelse i Kina. Han laver de beregninger og kort som alle rejser efter.



Figur 4. Totale solformørkelser de kommende år. Solens aktivitet bliver sandsynligvis størst i årene 2011-16. Flere detaljer i boksen. Kort: Fred Espenak, NASA/GSFC [5].



Figur 5. Ved solformørkelsen den 20. marts 2015 bliver den total på Færøerne. Kortudsnit fra Google Earth med formørkelsesbælte udarbejdet af Xavier Jubier på grundlag af Fred Espenaks beregninger [5].

Litteratur

- [1] M.C. Andersen, Indtryk fra en total solformørkelse set i Tyrkiet, KVANT bind 2, Juni 2006.
- [2] Xavier Jubiers samling af tegninger og billeder af koronaen fra de sidste godt 100 år, http://xjubier.free.fr/en/site_pages/eclipses.html
- [3] SOHO-satellitten, <http://sohowww.nascom.nasa.gov>
- [4] http://sun.stanford.edu/~keiji/daily_mhd/daily_mhd.html
- [5] NASAs side om formørkelser, <http://eclipse.gsfc.nasa.gov>
- [6] Climatology and Maps for the Eclipse Chaser, <http://www.eclipses.ca>
- [7] North Australia Total Solar Eclipse, <http://www.shindles.co.uk/-eclipse2012>

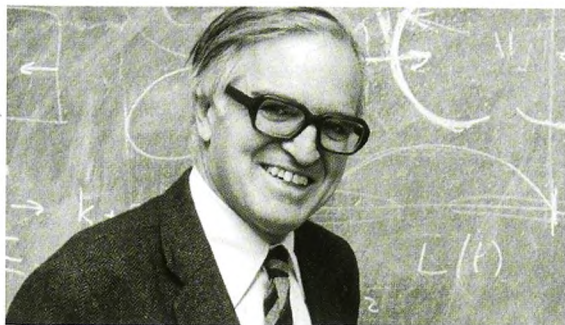


Michael Cramer Andersen underviser i fysik og astronomi på Christianshavns Gymnasium og er redaktør af KVANT. Han har set fire totale solformørkelser med sammenlagt knap 14 minutters totalitet. På de sidste tre ture (2006, 2008 og 2009) var han med som astroguide og holdt foredrag om solformørkelsen.

En fysikstjerne er slukket – nekrolog over Aage Bohr

Af Lars Henrik Aagaard, Videnskab og teknologi, Berlingske Tidende

Nobelpristager, søn af Niels Bohr og professor i kernefysik, Aage Bohr, er død, 87 år gammel.



Aage Bohr havde sin gang på Niels Bohr Institutet på Blegdamsvej i København helt indtil få måneder før sin død. Foto: Mogens Ladegaard

Det var en arv, der på papiret var umulig at løfte. Men Aage Bohr gjorde det, løftede sig fri af tyngden af sin verdensberømte far, Nobelpristageren Niels Bohr, blev helt sin egen og tilmed selv Nobelpristager. Nu er han her ikke mere, den store fysiker og professor. Tirsdag den 8. september udåndede han i en alder af 87 år, hvormed Danmark, måske, har mistet den sidste Bohr af de helt store.

Hans åndsevner var usvækket til det sidste. Han havde således sin gang på Niels Bohr Institutet på Blegdamsvej i København helt indtil for få måneder siden, og så sent som i fjor publicerede han sin sidste videnskabelige artikel. Tilmed var han til det sidste – bl.a. sammen med sin livslange makker, Nobelpristageren Ben Mottelson – involveret i en revurdering af fysikkens nok mest u håndgribelige gren, kvantemekanikken.

Aage Bohr blev født direkte ind i kernefysikkens mest geniale cirkler og tilmed i dens guldalder. Fødselsåret var 1922, samme år som hans far modtog Nobelprisen i fysik og året efter, at samme pris gik til en ung tysk fysiker ved navn Albert Einstein. Barndomshjemmet lå endda i selve det institut under Københavns Universitet, der senere skulle blive til Niels Bohr Institutet, og i hjemmet kom og gik en lang række af datidens største fysikere, der ligefrem blev omtalt som onkler – onkel Heisenberg f.eks.

Med den baggrund fulgte han naturligvis i faderens fodspor og begyndte i 1940, kort efter den tyske besættelse, at studere fysik ved universitetet. Samtidig blev han videnskabeligt knyttet meget tæt til Niels Bohr som dennes sekretær og assistent, bl.a. som brevscriber, i første omgang i form af almindelig korrespondance, men gradvist også med breve af streng videnska-

belig karakter. Det nære samarbejde fortsatte, da familien måtte flygte fra nazisterne til Sverige og senere til England og USA, hvor den unge Bohr sammen med sin far fik et sjældent indblik i atomforskningsprojektet i Los Alamos, hvor amerikanerne udviklede verdens første atombomber. I 1946 efter hjemkomsten til Danmark tog han sin fysikeksamen fra universitetet, men han videreuddannede sig på Princeton- og Columbia-universiteterne i USA.

I 1950 vendte han mere permanent tilbage til Danmark, hvor han indledte sit enestående og næsten livslange samarbejde med den amerikansk-fødte fysiker, Ben Mottelson. De var på mange måder hinandens modsætninger – Mottelson den udadvendte og begejstrede, Bohr den mere indesluttede og rugende. Men tilsammen udgjorde de et perfekt makkerpar, der på mange måder stod helt centralt i den internationale kernefysik gennem to hele tiår, 50'erne og 60'erne. De komplementerede hinanden, kan man næsten sige – med et udtryk fra Niels Bohrs egen kvanteverden. Bl.a. skrev de sammen tobindshovedværket "Nuclear Structure", der i mange år stod som selveste Bibelen på fagfeltet, og deres indsats blev i 1975 kronet med Nobelprisen i fysik, som de delte med amerikaneren James Rainwater. Prisen fik de for deres kvantemekaniske beskrivelse af energitilstanden i atomkerner.

Da Niels Bohr døde i 1962, løftede Aage Bohr arven på fornemste vis og levede op til instituttets navn som institutleder frem til 1970. Aage Bohr kendte om nogen den bohrske tradition og satte derfor både ambitionsniveauet og det internationale aspekt meget højt, hvilket betød, at huset på Blegdamsvej fortsat summende af begejstringen fra en lang række af verdens skarpeste hjerner på feltet.

Han var på én gang et ydmygt menneske og en verdensmand. Der var ingen pral i hans væsen, men hans aura og naturlige autoritet fik alle omkring ham til at yde deres bedste. Det meget private menneske Aage Bohr efterlader sig kone og tre børn, herunder Vilhelm Bohr, professor og chef for Laboratory of Molecular Genetics i USA, og fysikprofessor Tomas Bohr, DTU. Hans makker og nære ven Ben Mottelson er fortsat aktiv fysiker og ses stadig med jævne mellemrum på Niels Bohr Institutet.

Nekrologen blev bragt i Berlingske Tidende den 11. september 2009 og er trykt med tilladelse.

De første billeder efter servicemission 4

NASA's rumteleskop Hubble er igen i gang med observationer af Universet, og NASA har offentliggjort nogle smukke billeder fra det nyistandsatte teleskop. Ved det 4. serviceeftersyn, der blev udført af rumfærgen Atlantis' astro-

nauter, fik Hubble bl.a. et nyt kamera – Wide Field Camera 3. Serviceeftersynet vil forlænge Rumteleskopets levetid til mindst 2014. Man kan finde flere billeder på Rumteleskopets hjemmeside: spacetelescope.org.



Wide Field Camera 3 har taget dette smukke billede af den planetariske tåge NGC 6302, også kaldet sommerfugletågen, i stjernebilledet Skorpionen. I centrum af tågen er der en døende stjerne, der har været fem gange tungere end Solen. Stjernen slynger store mængder gas ud, der strækker sig over 2 lysår. Den døende stjernes overfaldetemperatur er bestemt til over 220.000 °C, hvilket betyder at den udsender ultraviolet stråling. Den glødende gas, der bliver opvarmet af den usædvanlig varme stjerne, er ligeledes usædvanlig varm for planetariske tåger – omkring 20.000 °C. (NASA/ESA).