
Tidsskrift for Fysik og Astronomi 25. årgang

- LYSSENDE NATSKYER
- VOR MAGNETISKE SOL
- Roterende sorte huller
- Som at se malinger der tørrer
- H.C. Ørsted medaljer til talentudviklere i gymnasiet
- Raketligningen og Keplers 2. lov – breddeopgaver
- Essaykonkurrence: 283 bud på Bohr
- Vinderessay: Lakridsbånd
- Om fysikopgaver
- Kvant-nyheder



KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

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

Udgives af

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

Redaktion

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

Foreningsrepræsentanter

Torben Lund Skovhus (SNU),
Teknologisk Institut

Abonnementspris : 180 kr/år.

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Henvendelser vedr. abonnement til forretningsfører Lene Körner tlf. 24 49 42 92 (koerner@kvant.dk).

Annoncer

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.

Tryk

HCB Tryk ApS, Brønderslev.
Oplag: 2200.

Produktionsplan

Nr. 2-14 udkommer ca. 15. maj
Nr. 3-14 udkommer ca. 15. september
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

283 bud på Bohr

Lars Green Dall, Katrine Minddal og Emma Sørgegaard 3

Vinderessay: "Lakridsbånd"

Anna Haargaard Olsen 5

Som at se på maling der tørrer... verdens langsomste eksperiment fascinerer i vores hurtigt skiftende hverdag

Signe Riemer-Sørensen 7

Foreningsnyt – foredrag i foråret 2014 10

Aktuelle bøger

Jens Olaf Pepke Pedersen og Michael Cramer Andersen 11

ANNONCE: Unge forskere – Science i Forum 13

H.C. Ørsted Medaljer til talentudviklere i gymnasiet

Dorte Olesen 14

KVANT-nyheder

Sven Munk 15

Lysende natskyer

Jesper Grønne 17

Om fysikopgaver – kommentar til breddeopgave om Stigefald

Per-Anker Lindgård 20

Raketligningen og Keplers anden lov – breddeopgave 56 og 57 med didaktisk kommentar

Jens Højgaard Jensen 22

Vor magnetiske sol

Søren Bertil Fabricius Dorch og Sven Ove Thimm 24

Roterende sorte huller

Kristian Jerslev 32

Generalforsamling i Astronomisk Selskab

Astronomisk Selskab Bagsiden

Billedet på forsiden viser en optagelse (i ekstrem ultraviolet) med solsatellitten TRACE, der viser magnetfelter der rækker langt ud fra Solens overflade. Magnetfelterne bidrager til at opvarme koronaen.

I artiklen om "Vor magnetiske sol", af Søren Bertil Fabricius Dorch og Sven Ove Thimm, beskriver hvordan Solens aktivitet hænger sammen med Solens magnetfelt og hvordan de store variationer vi ser i denne aktivitet opstår.

Billedkredit: M. Aschwanden et al. (LMSAL), TRACE, NASA. Billedet blev kåret som "Astronomy Picture of the Day" den 28. september 2000:
<http://apod.nasa.gov/apod/ap000928.html>.



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

283 bud på Bohr

Af Lars Green Dall, Katrine Minddal og Emma Sørgaard, Statens Naturhistoriske Museum

Sidste år blev hundredeåret for Niels Bohrs atommodel markeret i både ind- og udland. På Statens Naturhistoriske Museum udskrev vi til ære for Bohr og hans atommodel en essaykonkurrence for gymnasieelever. De 283 indkomne essays udgør et tankevækkende vidnesbyrd om de tanker og følelser, som emnet "Niels Bohr" vækker i danske gymnasieelever anno 2013, og museet har derfor indgået aftale med Niels Bohr Arkivet om at overdrage elevernes essays til arkivet – og til fremtiden.

År 2013 tilhørte Niels Bohr. I anledning af 100-året for hans atommodel blev mennesket, fysikeren, filosofen og humanisten Bohr i det forgangne år mindet, genlæst og fejret på behørig vis i både ind- og udland.

Bohrs navn var – og er – tæt forbundet med begreber som atom, energi, kvantemekanik og komplementaritet, og Bohrs rolle i dansk og international videnskabshistorie kan næppe overvurderes. Det er derfor heller ikke så underligt, at Bohr i hundredeåret for hans dristigt tænkte atommodel var det naturlige omdrejningspunkt for en lang række udgivelser, foredrag, konferencer, film og undervisningsmaterialer.

Karakteristisk for de mange spændende initiativer og materialer, som så dagens lys i Danmark i 2013, var, at det i høj grad var forskere og andre fagfolk, som varetog formidlings- og oplysningsopgaven "Niels Bohr" – og det hvad enten målgruppen var andre eksperter eller "den almindelige dansker".

På Statens Naturhistoriske Museum syntes vi, at der udover dette korpus af Bohr-kendere også var en anden gruppe danskere, der skulle have muligheden for at komme med deres bud på Bohr: – ungdommen anno 2013.

En essaykonkurrence om Niels Bohr

I foråret 2013 udskrev museets skole- og gymnasietjeneste derfor en essaykonkurrence for landets gymnasieelever. Konkurrenceopslaget havde følgende ordlyd:

"Statens Naturhistoriske Museum indbyder hermed alle landets gymnasieelever til at deltage i essaykonkurrencen NIELS BOHR. Konkurrencen udspringer af 100-året for den danske atomfysiker Niels Bohrs atommodel. I dit essay skal du kommentere og reflektere over et eller flere citater af eller om Niels Bohr. Du bestemmer selv, om dine refleksioner går i historiske, videnskabshistoriske, naturvidenskabelige, samfundsfaglige, filosofiske – eller helt andre – retninger."

De omtalte citater – 12 citater af og 12 citater om Niels Bohr – havde vi på museet udvalgt efter en omfattende gennemgang af værker af og om Bohr. Vores håb var, at konkurrencen – med citaternes tematiske spændvidde (fysik, historie, filosofi, etik, samfund, sprog) og med

opslagets eksplicitte angivelse af de forskellige faglige retninger, et essay ville kunne udfolde sig i – ville appellere til et bredt udsnit af landets gymnasieelever. Til vores store glæde lykkedes dette til fulde: Ved deadline d. 18. november var der indløbet ikke færre end 283 essays fra gymnasieelever fra hele landet (53 gymnasier). 2/3-dele af de deltagende elever var i øvrigt piger.

Der var til konkurrencen blevet nedsat et dommerpanel bestående af partikelfysiker Troels C. Petersen (Niels Bohr Institutet, KU), videnskabshistoriker Henry Nielsen (Institut for Fysik og Astronomi, AU) og videnskabs- og litteraturhistoriker Laura Søvsø Thomasen (Institut for Æstetik og Kommunikation, AU). De tre dommere blev udvalgt på baggrund af deres store – og til dels komplementære – kendskab til (og optagethed af) fysikeren, tænkeren og mennesket Niels Bohr.

Hvad skrev eleverne om?

De 283 indkomne essays udgør et tankevækkende og mangefacetteret indblik i de tanker, refleksioner, holdninger, overvejelser, følelser, fantasier, drømme, bekymringer og håb, som emnet "Niels Bohr" vækker i danske gymnasieelever i 2013. Elevernes essays bevæger sig i vidt forskellige – og ofte ganske overraskende og overrumplende – retninger (hvorved de pudsigt nok mimer Bohrs egen altomfattende tankeverden og interessesfære).

Emnerne for elevernes essayistiske udfoldelser kan siges at falde inden for følgende overordnede kategorier: Bohrs atommodel, fysikeren Bohr, menneskets Bohr, atomet, energi, kvantemekanik, fysik, filosofi, Niels Bohr Institutet, videnskabshistorie, Bohr-Einstein-diskussionerne, videnskabsetik, atombomben, virkelighedsbegrebet, verdens beskaffenhed, universets natur, erkendelsens grænser, sprogets væsen, identitet og eksistens, krig og fred, liv og død. Med andre ord: Alt er på spil i disse essays – og Bohr er på sin vis fotonen, der exciterer eleverne og deres essays.

Og vinderen er ...

Efter flittig læsning og votering kårede dommerpanelet i december 2013 Anna Haargaard Olsen fra Roskilde Katedralskole som vinder af essaykonkurrencen. Annas essay "Lakridsbånd" er trykt i nærværende nummer

af KVANT sammen med dommerpanelets udtalelse. Udover æren og offentliggørelsen i KVANT lød præmien på 5.000 kroner til vinderen. "Lakridsbånd" er med sine tænksomme og smukke ord om identitet og roller et rigtig godt eksempel på de mange finurlige og personlige læsninger, fortolkninger og fortsættelser, eleverne i deres essays har foretaget af Niels Bohr og hans ord.

Et nyt syn på Bohr

En fællesnævner for de mange essays er, at man tydeligt fornemmer skribentens engagement og den erkendelsesrejse, som selve arbejdet med essayet har udgjort. Elevernes grublerier og ahaoplevelser stråler ud af teksterne. En del af eleverne sætter ligefrem ord på, hvorledes det at skrive et essay til konkurrencen har været med til at udvide – eller ændre – deres syn på Niels Bohr, videnskab, filosofi, erkendelse, sprog osv. Og set i det lys er der ikke bare én, men 283 vindere af essaykonkurrencen.

Udover et ønske om at bidrage til markeringen af 100-året for Bohrs atommodel, har vi fra Statens Naturhistoriske Museums side med denne essaykonkurrence for gymnasieelever også haft en ambition om at udbrede kendskabet til – og interessen for – ikke kun Bohr og hans bedrifter, men også naturvidenskab, videnskabshistorie og "kundskabens enhed" (for nu at citere Bohr) generelt. Det mener vi er lykkedes, og vi ser frem til at følge op på Bohr-konkurrencen med en ny essaykonkurrence for gymnasieelever allerede i dette efterår. Her vil temaet være "naturvidenskabsmænd og -kvinder i dansk litteratur".

283 bud på Bohr i Niels Bohr Arkivet

Med essaykonkurrencen er vi blevet 283 unikke bud på Niels Bohr rigere, og på museet mener vi, at dette polyfone vidnesbyrd fra danske unge 100 år efter Bohrs skelsættende teori om atomets kvantiserede natur bør bevares for eftertiden. Vi har derfor rettet henvendelse til leder af Niels Bohr Arkivet Finn Aaserud omkring overdragelse af de mange essays til arkivet. Heldigvis er Aaserud enig i vores betragtninger omkring de mange essays betydningsfuldhed som historisk materiale, og vi er blevet enige om, at alle de essayister, som ønsker deres essay indlemmet i Niels Bohr Arkivet, vil få mulighed for dette. Dette arkiveringsarbejde går vi i gang med i de kommende måneder. Om 5, 10, 50 eller 100 år vil det således være muligt for forfattere, journalister, biografer og historikere at dykke ned i de mange essays og ved selvsyn erfare, i hvor høj grad danske gymnasieelever i 2013 formåede at sætte ord på Bohr, på Bohrs verden og på den verden, de unge selv var en del af.

På museets hjemmeside [1] kan man læse alle ti "finaleessays" (samt dommerpanelets udtalelser til disse), ligesom man også her finder det fulde konkurrenceopslag inklusive de citater af og om Niels Bohr, som de 283 essayister på modig vis tog livtag med i Bohr-året 2013.

Litteratur

- [1] Statens Naturhistoriske Museum, <http://snm.ku.dk>. Klik ind under: Skole- og gymnasietjenesten / Gymnasier / Konkurrencer.



Lars Green Dall er arrangements- og projektkoordinator i formidlingsafdelingen på Statens Naturhistoriske Museum og arbejder til dagligt med arrangementer, konkurrencer og udviklingsprojekter på gymnasieområdet. Lars Green Dall er uddannet cand.mag. i dansk og biologi.



Katrine Minddal er formidlingsmedarbejder og underviser ved Statens Naturhistoriske Museum. Hun står bl.a. for planlægning og afvikling af konkurrencer og arrangementer for gymnasieklasser og -undervisere. Katrine er uddannet folkeskolelærer og konserveringstekniker. Hun har desuden en grunduddannelse i filosofi.



Emma Sørgaard er studentermedhjælper ved Statens Naturhistoriske Museums formidlingsafdeling, hvor hun bl.a. arbejder med arrangementer og konkurrencer på gymnasieområdet. Emma Sørgaard studerer filosofi og er endvidere initiativtager til Copenhagen Science Slam.

Vinderessay: "Lakridsbånd"

Af Anna Haargaard Olsen, Roskilde Katedralskole

Vinder af Statens Naturhistoriske Museums essaykonkurrence for gymnasieelever 2013 om *Niels Bohr*.

Jeg sidder i køkkenet. Lyset er afdæmpet, kun to stearinlys og min computer oplyser rummet. Udenfor blæser vinden i blade og træer. Det er en af de dage. En af de dage, hvor alt går i et, bladene, vinden, farverne, mørket. Jeg sidder i køkkenet. Huset er ryddet op, og de sidste gæster er taget hjem. Vinflasker, cigaretskodder og madrester er af vejen. Kun den skønne stemning efter nogle hyggelige timer hænger tilbage i luften. Gennem platte jokes, vin og fællessang på "Bohemian Rhapsody" forvandlede mit barndomshjem. Nye, velkendte ansigter i gamle, trygge rammer. Det er som at tage én verden ind i en anden. Jeg bliver en anden, opfører mig anderledes. Det er en side af mig selv, som ikke er vant inden for disse mure. Mine venner ser mig anderledes end mine forældre ser mig. Og heldigvis for det.

Nu er solen gået ned. Ella og Louis synger på anlægget. Sammen med efteråret uden for vinduet skaber de aftenens synergi. En følelse af lykke overvælder mig, og jeg kan ikke lade være med at smile, mens jeg synger med på de blå toner. Det har været den skønneste weekend. Endnu er jeg alene hjemme, endnu er denne ro til stede. Om lidt kommer mine forældre hjem, så vil stemningen skifte. Den vil vende. Vende tilbage til det gamle og velkendte. Jeg glæder mig til at se dem, men jeg ved også, at så er freden forbi. Så vil jeg igen skifte tilbage til den jeg er, sammen med dem. Til den, de ser mig som.

Gennem deres øjne forvandles jeg til en anden person, tager datter-rolle på mig.

Det er en anden side af mig selv mine forældre ser, end mine venner ser. Og heldigvis for det. Det er de øjne og blikke, der møder mig, der skaber hvem jeg er i det øjeblik. Men hvem er jeg så lige nu? For et øjeblik siden blev jeg set gennem mine venners øjne. Jeg var afslappet, glad og fjollet. Om et andet øjeblik bliver jeg set gennem mine forældres øjne. Så vil jeg være hende den glade pige der, forhåbentlig, har været ansvarlig og ryddet huset ordentligt op, og sørget for stearinlys i vinduet til de kommer hjem. Tiden lige her imellem er jeg hverken den ene eller den anden. Måske er jeg mig selv netop her, eller også er jeg ingen. Måske er jeg ikke én, men måske komplementerer alle disse øjne, hvem jeg er. Peter Ronild skrev i sin novelle 'I morgen kommer Paddehatteskyen': "Alting er komplementært, siger Niels Bohr, og øjne, der ser på en ting, som om den var et lakridsbånd, påvirker den uhyre meget til at være et lakridsbånd, og til sidst er det en halvbld blanding af lakridsbånd og øjne...". Kan vi eksistere uden vores medmenneskers blikke? Vi ville være udefineret. For det er de gensidige blikke, og den gensidige opførelse,

der skaber hvem vi er for hinanden. Vi er afhængige af vores familie, venner og fjender. Det er dem der tildeler os vores forskellige roller. Men hvad nu hvis det ikke er lakridsbånd vi ser på, men tværtimod chokolade? Hvad nu hvis jeg ikke er det, de andres øjne ser? Så er jeg på den! For hvem er jeg så?

Jeg hører bilen køre ind i indkørslen. Hornet dytter. Nu er de hjemme, og med ét bliver jeg deres datter. Jeg hører bildørene smække, snak og latter. Jeg glæder mig til at se deres smil, når de kommer hjem til et renere hus end de forlod. Nu er det ikke længere musik, thai mad, Bubber og Medina der er emnerne, men derimod sport, arbejdsløshed og menighedsråd. Alle emner er en del af mit jeg, men det er ikke det samme jeg.

Ifølge eksistentialisterne Martin Buber og Gabriel Marcel forstår vi først os selv, når vi genkender os i en anden, og den anden i os. Et såkaldt jeg-du-møde, modsat jeg-det-møde hvor personen overfor os ses som en genstand, med en uforanderlig, dømmende egenskab. I jeg-du-mødet indtræffer gensidig respekt og tillid, og vi lærer hinandens inderste at kende. Det er den del af os selv i den anden som vi forstår, og på den måde skaber vi identifikation og medfølelse. På samme måde forstår jeg kun mig selv, når jeg har oplevet mig hos en anden. Der kan jeg sige: "sådan har jeg det også", eller "det synes jeg også". Alting er komplementært. Og vi er komplementære for hinanden. Måske bliver vi ligefrem ens. En halvbld blanding af lakridsbånd og øjne. Men kan vi være sikre på, at vi nu også er så ens? For alt vi kender, kender vi ud fra vores egen opfattelse. Alt hvad jeg oplever, og føler, kan kun jeg vide med sikkerhed. Den følelse. Det lyder enormt ensomt. Jeg kan blive helt trist og panikslagen ved tanken om denne ensomhed. Tanken om, at ingen nogensinde vil kunne kende til hvad jeg føler. Ingen at dele det med. Og jeg vil heller aldrig kunne kende til andre menneskers følelser og tanker. Jeg vil i hvert fald aldrig vide det med sikkerhed. Der findes en hjemme-side, hvor hele verdens befolkning er grafisk illustreret med en lille tændstik-mand pr. indbygger. 7,1 milliarder. Overskuelig uoverskuelighed. Det er svært at tænke sig, at jeg ikke vil kunne forstå eller identificere mig med nogle af disse mennesker. Det er både svært og nemt at føle mig ensom, når jeg ser denne hjemmeside. Jeg er jo ikke ligefrem alene. Men hvis ingen af disse mennesker kender mig, er jeg pludseligt meget alene. Vi lever i den samme verden. I den samme virkelighed. Men kan jeg overhovedet være sikker på, at min virkelighed er den samme som mine forældres, som mine venners, som de 7,1 milliarder andre verdensbeboere? Niels Bohr sagde:

“Ordet ‘virkelighed’ er også et ord, som vi må lære at bruge korrekt”. Men hvad er virkeligheden? Brug af ordet virkelighed, er et forsøg på at indkapsle og forstå verden, gøre verden overskuelig. Netop derfor er det vigtigt at sætte ord på vores tanker og meninger. Nå frem til en fælles forståelse. Eller det vi regner med, er en fælles forståelse. Ellers kan vi ikke bruge ordet virkelighed korrekt. Det er måske derfor, at jeg netop i det øjeblik, for et øjeblik siden, fandt ro. Der konstruerede jeg min egen virkelighed, uden nogle indvendinger udefra. Egentlig kan jeg jo ikke gøre andet, end at konstruere min egen virkelighed. Jeg aner ikke, om mine venner og forældre ser mig som den, jeg tror jeg er sammen med dem. Det er ikke sikkert, at de øjne, hvormed jeg tror de ser mig, er de samme som de selv tror de ser mig med.

Hoveddøren går op. Jeg klapper min computer sammen, og vender tilbage til virkeligheden. Tilbage til den virkelighed der er her i huset.



Anna Haargaard Olsen (f. 1994) går i 3.U på Roskilde Katedralskole med musik som hovedfag. Hun er opvokset uden for landsbyen Haraldsted. Efter gymnasiet har Anna planer om at rejse, og senere måske søge ind på Danmarks Medie- og Journalisthøjskole.

Dommerpanelets udtalelse til vinderen

Her bringer vi dommerpanelets udtalelse til vinderen i Statens Naturhistoriske Museums essaykonkurrence “Niels Bohr”. Vinder blev Anna Haargaard Olsen, Roskilde Katedralskole, med essayet “Lakridsbånd”:

Et velskrevet, personligt og originalt essay med en tydelig rød tråd. Et meget anderledes essay med mange gode inddrag af andre tekster. Et essay om skribentens refleksioner over menneskers komplementaritet og over hendes egen identitet; om hvordan hun oplever at blive formet - eller lader sig forme - af de mennesker, hun er sammen med på forskellige tidspunkter: forældrene, familien, vennerne. “Alting er komplementært. Vi er komplementære for hinanden”, skriver hun og bliver trist ved tanken om, at det måske er principielt umuligt helt at forstå eller kunne identificere sig med bare ét andet af jordens 7,1 milliarder mennesker. Og kan vi være sikre på, at vi lever i den samme virkelighed? “Egentlig kan jeg ikke gøre andet end at konstruere min egen virkelighed”, konkluderer skribenten.

Dette essay er på mange måder et essay i klassisk forstand, hvor vi starter og slutter hjemme hos forfatteren. Udgangspunktet er komplementaritet og vores forståelse og konstruktion af virkeligheden. Igennem essayet får vi præsenteret en række referencer til andre både filosofiske og litterære værker og emner (blandt andet Peter Ronilds “I morgen kommer Paddehatteskyen” og eksistentialismen), der i næsten ‘stream-of-consciousness’ stil fører læseren igennem de kringledede argumenter om komplementaritet og virkelighedskonstruktion. Og både forfatter og læser bliver bevidst om, at man kan konstruere sin egen virkelighed, og at man ser sig selv på én måde, selvom andre ser én på en anden måde. Et super godt essay på mange planer!

Dommerpanelet bestod af partikelfysiker Troels C. Petersen (Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet), videnskabshistoriker Henry Nielsen (Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet) samt videnskabs- og litteraturhistoriker Laura Søvsø Thomasen (Institut for Æstetik og Kommunikation, Aarhus Universitet).

PFEIFFER VACUUM

Vacuum kamre



Fremstillet efter kundens design

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

Som at se på maling der tørrer...

verdens langsomste eksperiment fascinerer i vores hurtigt skiftende hverdag

Af Signe Riemer-Sørensen

Pitch Drop eksperimentet ved University of Queensland er noget helt særligt. Der er næsten lige så meget action som hvis man sætter sig til at se på en nymalet væg, der tørrer, og alligevel er eksperimentet svært fascinerende.

The Pitch Drop Experiment

Jeg føler mig meget privilegeret. Jeg har haft chancen for at møde adskillige Nobelprismodtagere, men kun én eneste Ig Nobelprismodtager¹: Prof. John Mainstone, kustode for verdens kedeligste eksperiment. Vi står i et kontor bag receptionen på School of Mathematics and Physics ved University of Queensland (Brisbane, Australien). På bordet foran os står en interimistisk samling af lamper, baggrundsskærm og webkameraer. Alle er de rettet mod det: Verdens kedeligste eksperiment med navnet "The Pitch Drop Experiment" (se figur 1).



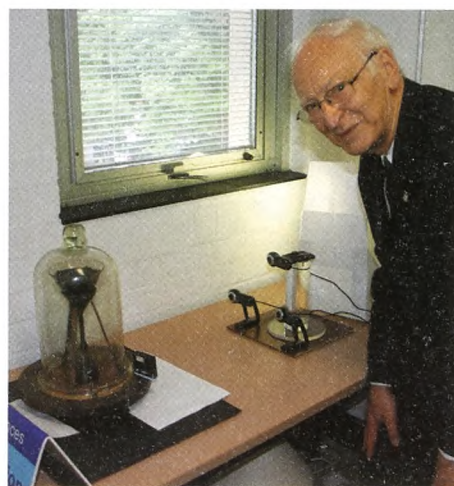
Figur 1. The Pitch Drop Experiment. Foto: Signe Riemer-Sørensen.

På dansk ville man vel oversætte det til "beg-dråbe-eksperimentet". Navnet er meget sigende. Eksperimentet består i al sin simpelhed af en glasklokke, hvori der hænger en tragt med størket beg, og fra bunden af tragten hænger en dråbe ca. 10 cm ned. Under tragten står et lille glasbæger med nogle klumper beg i bunden, som tydeligvis er dryppet ud af tragten. Dybt fascinerende ser det hele ud til at være størket. Men det er det ikke! Siden Prof. Thomas Parnell satte eksperimentet op i 1927, har det dryppet 8 gange, og nu er den niende dråbe på vej. Prof. Mainstone peger på en beg-tråd, der stritter ud fra en af de tidligere dråber og akkurat rører den nuværende dråbe. "Den der revne er blevet større i løbet af de sidste 5-6 uger! Nu drypper det snart! Og læg også mærke til hvordan tråden, som dråben hænger i er tyndere lige under tragten."

¹Ig Nobelprisen gives til videnskab, der først og fremmest får folk til at smile og derefter til at tænke sig om, se mere på: <http://www.improbable.com/ig/>.

Den niende dråbe

Prof. Mainstone har passet The Pitch Drop Experiment i 52 år. Alligevel har han aldrig set det dryppe og kommer desværre heller aldrig til det, da han gik bort d. 23. august 2013 få uger efter dette interview.



Figur 2. Prof. John Mainstone var kustode for verdens kedeligste eksperiment: The Pitch Drop Experiment. Foto: Signe Riemer-Sørensen.

Den sjette dråbe i 1979 missede Prof. Mainstone, da han, efter at have kigget til eksperimentet en lørdag eftermiddag, besluttede at der nok ikke skete noget før mandag. Da han mødte på arbejde mandag morgen, var dråben faldet. Den syvende dråbe faldt i 1988 under verdensudstillingen i Brisbane. Prof. Mainstone forlod eksperimentet i fem minutter for at hente en forfriskning i en nærliggende bod, og da han kom tilbage, var dråben faldet. Bare fem minutter... Da den ottende dråbe var ved at være klar i 2000, stod han og skulle en tur til England, så han forberedte sig grundigt og allierede sig med moderne teknologi i form af et kamera og en computer til at lagre optagelsen. Han var derfor helt rolig, da kollegerne ringede og sagde, at nu havde eksperimentet dryppet – lige indtil de ringede igen og sagde at der var gået noget galt med videolagringen. Prof. Mainstone indrømmede, at han var spændt på den niende dråbe (se figur 2), men påpegede også, at er der noget Pitch Drop har lært ham, så er det at vente tålmodigt og ikke tage noget for givet. Der er faktisk slet ingen der har set eksperimentet dryppe, så i dag er der tre kameraer og både backup og backup af

backuppen. Hvis man selv vil følge med, streames det hele online på <http://theninthwatch.com>.

Historien om verdens kedeligste eksperiment

Dr. Thomas Parnell (se figur 3) blev hentet til University of Queensland i 1911 for at undervise i fysik på det helt nystartede universitet. Brisbane var dengang langt ude på landet (det er der stadig nogen der mener det er, på trods af mere end 2 millioner indbyggere) og man ville gerne vise at man ikke var et provinsuniversitet ved at undervise i moderne fag såsom fysik og kvantemekanik. Parnell blev senere udnævnt som den første professor i fysik ved universitetet. Efter sigende var Prof. Parnell ikke den bedste og mest inspirerende forelæser. Faktisk går rygten at ikke bare de studerende, men også han selv, skulle være faldet i søvn til en forelæsning.



Figur 3. Prof. Thomas Parnell (1881-1948) som satte Pitch Drop eksperimentet i gang i 1927, for at vise sine studerende, at ikke alt er hvad det giver sig ud for. Foto: dailymail.co.uk.

Prof. Parnell var dog interesseret i formidling og ønskede at lave et demonstrationseksperiment, der kunne vise de studerende, at ikke alting er, som vi tror det er. Til dette formål udså han sig materialet beg, som er et mørkt/sort restprodukt fra destillationen af tjære. De hårdeste begtyper er glasagtige ved stuetemperatur, og brækker i stykker ved slag, men allerede ved lidt forhøjede temperaturer (50-100 °C) bliver beg blødt eller endog flydende. Beg har tidligere haft stor betydning som tætnings- og imprægneringsmiddel, fx i træskibe og tøndes, samt som bindemiddel i briketter og i lerduer. I dag er den vigtigste anvendelse som bindemiddel i anoder til elektrolytisk aluminiumproduktion.

Prof. Parnell slog en klump beg i mindre stykker med en hammer, og opvarmede den til flydende tilstand (dampene kan være sundhedsskadelige så prøv ikke dette derhjemme), hvorefter den blev hældt på en lukket tragt. Derefter fik begen lov at sætte sig i tre år, inden bunden blev skåret af tragten og det hele ophængt i en glasklokke over et lille bæger. De næste 8 år skete der absolut intet, men Prof. Parnell var tålmodig, og i 1938 faldt den første dråbe.

Denne trang til at demonstrere at ikke alt er, hvad det ser ud til, var typisk for 1930'erne. Kvantemekanikken var i sin ungdom, og den logiske klassiske mekanik var ikke længere tilstrækkelig til at beskrive verden. Dette paradigmeskift er i øvrigt illustreret i to små

friser over indgangen til Parnell-bygningen, der huser eksperimentet ved University of Queensland. Til venstre symboliserer Det skæve tårn i Pisa den klassiske verden, og til højre er kvantemekanikken repræsenteret ved Schrødingers kat både død og levende (se figur 4).



Figur 4. Indgangen til Parnell-bygningen, som huser Pitch Drop eksperimentet ved University of Queensland, Australien, samt detalje af relieffet med Schrødingers kat både død og levende. Fotos: Signe Riemer-Sørensen.

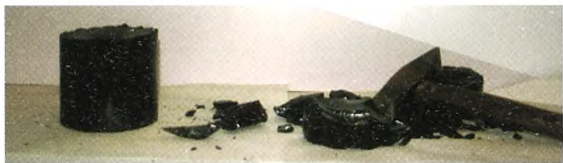
Dato	Begivenhed	År siden sidste dryp
1927	Eksperimentet sættes op	—
1930	Tragten skæres åben	—
Dec. 1938	Første dråbe	8,0-8,9
Feb. 1947	Anden dråbe	8,3
April 1954	Tredje dråbe	7,2
Maj 1962	Fjerde dråbe	8,1
Aug. 1970	Femte dråbe	8,3
April 1979	Sjette dråbe	8,7
Juli 1988	Syvende dråbe	9,3
1996?	Klima anlæg installeres	—
Nov. 2000	Ottende dråbe	12,3

Og hvad kan man så lære af det?

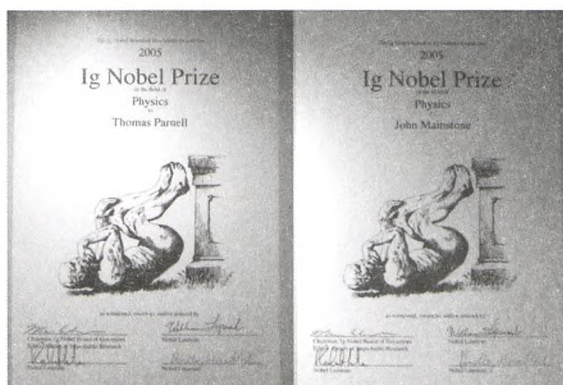
I 1984 udkom den hidtil eneste videnskabelige artikel om eksperimentet (R. Edgeworth, B.J. Dalton and T. Parnell, *Eur. J. Phys* (1984) 198-200), hvor forfatterne bestemte viskositeten af begen til at være ca. 100 mia. gang højere end viskositeten af vand (dvs. mere tyktflydende). Det er jo ikke ligefrem raketvidenskab, men forsøget var netop tænkt som en demonstration og ikke et egentligt videnskabeligt og kontrolleret forsøg. Den oprindelige beg-blanding er ukendt, forsøget har været flyttet adskillige gange og i midten af 1990'erne, blev der installeret klimaanlæg i Parnell-bygningen, og siden da har der været længere mellem dryppene.

I glasmontren hvor eksperimentet normalt står ligger der også en klump beg, der bare har fået lov at størkne

og så er blevet slået på med en hammer (se figur 5). De brudte stykker står i klar kontrast til indtrykket af tyktflydende væske i tragten. Hvis man betragter dråberne under tragten, så er de blevet lidt fladtrykte med tiden. Derimod er den løsstående klump helt regulær og ikke deformet af tyngdekraften. Det må altså være en kombination af tyngdekraften og trykket fra tragten, der får begen til at opføre sig som en væske.



Figur 5. I glasmontren, hvor eksperimentet normalt står, ligger der også en klump beg, der bare har fået lov at størkne ledsaget af teksten: “At room temperature pitch seems hard and solid and shatters like glass when hit by a hammer”. Foto: Signe Riemer-Sørensen.



Figur 6. I 2005 fik Prof. Thomas Parnell (post mortem) og Prof. John Mainstone Ig Nobel Prisen for Pitch Drop eksperimentet. Foto: Signe Riemer-Sørensen.

Ig Nobelprisen

Ig Nobel prisen uddeles hvert år, ved en særdeles use-riøs ceremoni, til forskere, hvis videnskabelige frem-skridt først og fremmest får folk til at smile og derefter til at tænke sig om. Pitch Drop eksperiment gjorde sig værdigt til dette i 2005 og Prof. Mainstone insisterede på at dele prisen med Thomas Parnell (post mortem) (se figur 6). Prof. Mainstone var en stor fan af Ig Nobel. Ikke bare på grund af hans egen pris, men fordi han mente, at videnskab er blevet et “rotteræs” af hurtige resultater for at kæmpe om fondsmidler, og en gang imellem er det vigtigt at hæve sig over dette, og bare undersøge noget man ikke forstår. Imens drypper Pitch Drop eksperimentet i sit eget tempo under nærmest ukontrollerede forhold.

Ud over Ig Nobel prisen er eksperimentet også noteret i Guinness med rekorden for det forsøg i verden, der har kørt uafbrudt i længst tid.

Kontrol eksperimentet

Der findes faktisk en kopi af eksperimentet fra 1944 ved Trinity College Dublin i Irland, “the Tar Drop”. Selv om det ikke har eksisteret helt så længe, har det formået noget eksperimentet i Australien ikke har. I juli 2013 observerede man for første gang en dråbe falde, og selv om det mere er en kuriositet end et egentligt eksperiment, så blev dråben da omtalt i tidsskriftet

Nature. Desværre ramte dråben bunden af glasset inden den løsrev sig, så i Prof. Mainstones øjne var det ikke en “rigtig” dråbe.

Hvad fremtiden bringer

Der er store ændringer forude for Pitch Drop eksperi-mentet. Når det engang har smidt sin niende dråbe, har Prof. Mainstone foreslået den første egentlige ændring på eksperimentet siden 1930: At fjerne skålen med gamle dråber og erstatte den med en tom, således at fremtidige dråber kan falde frit. Hans skøn var, at der stadig er beg til mindst 100 år endnu, men der vil nok blive længere og længere mellem dryppene, da der ikke bliver fyldt mere beg på.

Det er et mærkeligt fascinerende eksperiment – må-ske netop fordi det går så langsomt. Og det er da heller ikke gået verden forbi. I løbet af det sidste års tid har webcamserven registreret mere end 300.000 unikke besøgende, som hver især stirrer på eksperimentet og ser sekunderne tikke afsted på det lille ur ved siden af. “Men eksperimentet tager os langt videre end bare uret, der tikker” sagde Prof. Mainstone. “Det flyder med tiden i sit eget tempo. Vi har denne her ide om, at vi burde kontrollere alting. Men det er ikke et kontrolleret eksperiment. Vi forsøger at lave eksperimenter, der følger vores eget design og giver os de ønskede svar. Dette er ikke i den kategori – det er noget helt, helt andet.”

Normalt står eksperimentet i en glasmontre ud mod indgangen til auditorie 222 i Parnell-bygningen, men på grund af ombygning var det midlertidigt i eksil i det lille kontor. Hvis man er blevet nysgerrig, og ønsker at holde øje med eksperimentet selv, ja, så kan man enten rejse til Brisbane, eller følge med via webcam på eksperimentets hjemmeside [1]. I referencerne kan den nysgerrige læse flere detaljer.

Litteratur

- [1] Eksperimentets hjemmeside, <http://smp.uq.edu.au/content/pitch-drop-experiment>.
- [2] Artikel i *The Australian*, april 2013, <http://www.theaustralian.com.au/news/features/pitch-fever/story-e6frg8h6-1226613215795>.
- [3] Artikel i *Brisbane Times*, januar 2012, <http://www.brisbanetimes.com.au/queensland/worlds-longest-lab-experiment-a-lesson-in-persistence-20120119-1q7lu.html>.
- [4] Natures video af Trinity College-eksperimentet der drypper, <http://www.nature.com/news/worlds-slowest-moving-drop-caught-on-camera-at-last-1.13418>



Signe Riemer-Sørensen har i godt tre år arbejdet ved University of Queensland i Australien, med bestemmelse af de kosmologiske parametre ud fra kortlægning af galakser. Hun er for tiden postdoc ved Universitetet i Oslo.

Foreningsnyt – foredrag i foråret 2014

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Mar.				
17/3	19.15	Lys over den mørke energi med Euclid	Allan Hornstrup	AS (Kbh)
24/3	19.30	Lys over den mørke energi med Euclid	Allan Hornstrup	AS (Aarh)
24/3	19.30	Krystallografi i industriel katalyse	Alfons Molenbroek	SNU
Apr.				
7/4	19.30	Strukturelle studier af biomolekylære komplekser og syntetiske polymer systemer ved anvendelse af små-vinkel spredning, SANS og SAXS	Kell Mortensen	SNU
14/4	19.15	Kepler: En fantastisk synergi mellem exoplaneter og variable stjerner	Karsten Frank Brogaard	AS (Kbh)
28/4	19.30	Kepler: En fantastisk synergi mellem exoplaneter og variable stjerner	Karsten Frank Brogaard	AS (Aarh)
28/4	19.30	Materialekrystallografi. Efter foredraget er der generalforsamling i SNU.	Bo Brummerstedt Iversen	SNU
Maj				
5/5	19.15	James Webb Space Telescope: De første galakser i Universet	Peter Jakobsen	AS (Kbh)
12/5	19.30	James Webb Space Telescope: De første galakser i Universet	Peter Jakobsen	AS (Aarh)
19/5	19.30	Cellens komplekse verden i et krystallært lys	Poul Nissen	SNU

AS (Kbh): Astron. Selskab (København), Auditorium 4, H.C. Ørsted Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (www.astronomisk.dk).
AS (Aarh): Astron. Selskab (Aarhus), Matematisk Inst., Aarhus Universitet, Ny Munkegade 118, Bygn. 1530, Auditorium D2, 8000 Aarhus C.
SNU: Geologisk Museum, Øster Voldgade 5-7, 1350 København K (www.naturvidenskab.net).

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Der afholdes generalforsamling i SNU efter foredraget den 28.4. Dagsorden kommer på www.naturvidenskab.net senest den 1.4.

SNU bliver 190 år

Den 6. juli 1824 grundlagde H.C. Ørsted Selskabet for Naturlærens Udbredelse, så i år kan SNU fejre 190 års fødselsdag. SNU har startet markeringen af dette særlige år med en genudgivelse af det mindeskraft for Niels Bohr, som oprindeligt blev udgivet for godt 50 år siden. Niels Bohr spillede en stor rolle i SNU gennem mange år, og var bl.a. medstifter af Kirstine Meyers Mindelegat, som også vil blive uddelt her i jubilæumsåret. Mindeskraften er omtalt på næste side, hvor der også står hvordan man kan købe det.

Astronomisk Selskab

Foredragenes tema er *Universet set fra rummet*. Danske forskere spiller en aktiv rolle i udforskningen af Universet, som i høj grad afhænger af satellitter og teleskoper i bane om Jorden eller i Solsystemet. I denne foredragsrække sætter vi fokus på fem missioner med dansk deltagelse, som bidrager til udforskningen af Universet fra rummet. Målene for missionerne er alt fra udforskning af det tidlige Univers over udforskning af stjerner og galakser til den mystiske mørke energi og Jordens magnetfelt. I flere tilfælde har missionerne allerede givet enestående resultater og indsigt og meget mere er forhåbentlig i vente i fremtiden. Foredragene afholdes i samarbejde med Folkeuniversitetet og er tilrettelagt af Johan Fynbo og Ole Bjælde.

Der afholdes **generalforsamling i AS** den 26. april (se bagsiden af bladet).

Kosmosklubben

Astronomisk Selskab stiftede i oktober 2013 Kosmosklubben for børn og unge. Alle under 18 år med interesse for astronomi og rumfart kan melde sig gratis ind i klubben, som løbende laver arrangementer i hele Danmark og ofte i samarbejde med lokale organisationer og ildsjæle.

Vores fælles mål er at styrke børns og unges interesse og dannelse inden for astronomi og naturvidenskab generelt.

Hvis man har spørgsmål eller er interesseret i et samarbejde med Kosmosklubben, så kontakt næstformand i Astronomisk Selskab, Julie Søgaard, på js@astronomisk.dk eller mobil 40380363.

Læs mere på www.kosmosklubben.dk.

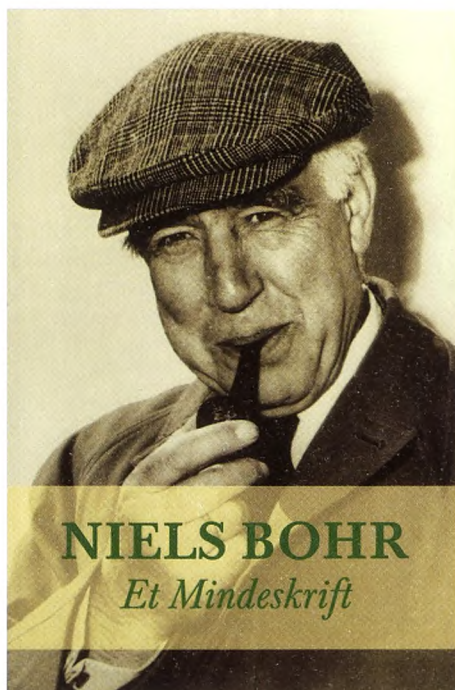


Aktuelle bøger

Af Jens Olaf Pepke Pedersen og Michael Cramer Andersen

Niels Bohr Mindeskrift

En kreds af medarbejdere, "Niels Bohr. Et Mindeskrift". Genoptryk af Fysisk Tidsskrift fra 1962, 202 sider. Udgivet af Selskabet for Naturlærens Udbredelse i samarbejde med Forlaget Epsilon.dk 2013. Bogen koster 200 kr, men kan købes af abonnenter på KVANT til en særpris af 100 kr. Se nærmere om bestilling nedenfor.



Selskabet for Naturlærens Udbredelse (der er en af udgiverforeningerne bag KVANT) har valgt at markere 100-året for Niels Bohrs atommodel og sit eget 190 års jubilæum her i 2014 ved at genudgive et mindeskrift, som foreningen udgav kort efter Niels Bohrs død i november 1962.

Mindeskriptet er et fotografisk optryk af et nummer af "Fysisk Tidsskrift" (som jo var forløberen for "KVANT") og er skrevet af en lang række af Bohrs medarbejdere eller andre, som har haft kontakt til Bohr. De er således meget forskellige i form og indhold, og heldigvis er der på de godt 200 sider et så stort udvalg, at man som læser kan tillade sig at vælge lidt imellem bidragene.

De mest interessante bidrag er nok de personlige erindringer om møderne med Bohr og livet på hans institut. George de Hevesy skriver således underholdende, men desværre ret kortfattet, om sit første møde med Bohr på Rutherfords institut i Manchester, hvor laboratoriet i øvrigt var fyldt med kulstøv fra den forurenede luft. Elektroskoperne, der var bygget af gamle kakaodåser, var nemlig så følsomme, at man ikke kunne gøre rent i laboratoriet.

Kemikeren J.A. Christiansen skriver blandt andet om sin doktordisputats, hvor Bohr var en af opponenterne. Under forsvaret blev han selv anbragt på et tårn af et kateder med sin egen tavle, og hvorfra han først måtte stige ned igen som doktor, mens opponenterne havde deres egen tavle på gulvet nedenfor. Han får også bemærket, hvordan Bohr demonstrerede sin evne til at omformulere uklart udtrykte tanker, således at de kom til "at stå lysende klart, i det mindste for den forberedte tilhører".

Fysikeren Christian Møller har også nedfældet underholdende glimt fra Niels Bohr Institutets historie, og gengiver blandt andet Bohrs beskrivelse af det første møde mellem de iltre fysikere Ehrenfest og Pauli. Her skulle Ehrenfest have sagt til Pauli, at han syntes meget bedre om Paulis afhandlinger end om ham selv, hvortil Pauli havde svaret, at det var pudsigt, for med hensyn til Ehrenfest havde han det selv lige modsat.

Cyklotronen på instituttet får også beskrevet sin historie med talrige flytninger og ombygninger af fysikeren N.O. Lassen, hvor man nok skal være gammel acceleratorfysiker som undertegnede for helt at påskønne den høje detaljeringsgrad. Et andet kort bidrag af fysikeren Torkild Bjerger fortæller om oprettelsen af den danske atomenergikommission og starten på forsøgsanlægget ved Risø. Bohr var meget optaget af, at Danmark ikke blot fik glæde af atomenergien, men også at der blev samlet en videnskabelig og teknologisk forskning, som skulle understøtte hinanden omkring de nye forsøgsreaktorer, således at dansk industri kunne deltage i de mange opgaver, der ville være omkring udnyttelsen af atomenergien. Det er skrevet i en mere optimistisk tid, hvor håbet var, "i de kommende tiår at råde over videnskabsmænd og ingeniører, der kan udnytte de tekniske fremskridt, som overalt sker på atomenergiens område". Det kom som bekendt ikke til at gå her i landet, som Bohr og hans medarbejdere dengang forestillede sig.

Jens Olaf Pepke Pedersen

Bestilling af Mindeskriptet

Mindeskriptet om Niels Bohr koster 200 kr., men kan købes af abonnenter på KVANT (og dermed også medlemmer af AS, DFS, DGF og SNU) for 100 kr. Bogen sælges ved alle SNU's foredrag i 2014. Det er også muligt at få bogen tilsendt mod betaling af 50 kr. til dækning af porto og ekspedition. I så fald sker bestilling ved at indbetale hele beløbet (dvs. enten 250 kr. eller 150 kr.) på indbetalingskort +01< 9032363 med angivelse af navn og adresse. Ønsker man rabat som abonnent på KVANT skal dette anføres sammen med abonnentnummeret som man kan finde på linjen lige over sit navn på adressetrykket på bladets bagside.

Undervisningsbog om hjernen

Red: Leif Østergaard, Carsten Reidies Bjarkam, Morten L. Kringelbach m.fl., "Hjernen – fra celle til samfund", Systime 2013, 168 sider, 275 kr., www.systime.dk.



Denne bog henvender sig til elever i det almene gymnasium og er skrevet af hjerneforskere med baggrund indenfor bl.a. fysik, matematik, medicin, sprogfag, psykologi, teologi og musik. I bogens indledende kapitel fortæller Leif Østergaard, at der ligger megen ny viden gemt mellem de traditionelle fag. Udfordringerne kan derfor bedst overvindes ved at eksperter fra forskellige fag deler deres viden og er opmærksomme på forskellene i fagtraditionerne. Leif Østergaard er leder af Center for Funktionelt Integrativt Neurovidenskab (CFIN) og MINDLab ved Aarhus Universitet med over 100 medarbejdere. Herfra kommer også bogens øvrige forfattere.

Carsten R. Bjarkam giver i et koncentreret kapitel en grundlæggende indføring i "Nervesystemets opbygning, celler og funktion". Her er mange fagudtryk, hvoraf en del måske vil være kendt fra biologiundervisningen. Derefter følger en række specialkapitler hvor eksperter indenfor hver deres felt fortæller om fx: *Hjernens begær efter nydelse*, *Hjerne og psyke*, *Fysikken bag MR-skanning af hjernen*, *Sprog og hjernen*, *Hvordan behandler hjernen musik?*, *Den religiøse hjerne* og *Den politiske hjerne*. Det er en god kombination med en grundlæggende introduktion til hjernen og en række specialartikler. Det er spændende læsning!

I kapitlet om "Fysikken bag MR-skanning af hjernen" forklares det hvordan hospitalsskannerens magnetfelt ensretter magnetfeltet af protoner i patientens krop og at magnetiseringen derefter ændrer sig forskelligt afhængig af vævstype, hvilket udnyttes i billeddannelsen.

Forfatterne har søgt at give et overblik på dansk og vække en interesse for de tværdisciplinære emner. Begreber som kan slås op i fagenes lærebøger er derfor ikke forklaret igen. Alle begreber er heller ikke forklaret fuldstændigt og man skal derfor arbejde med teksten og opsøge yderligere litteratur. Nogle forfattere refererer til litteratur på dansk, men ellers er størstedelen af litteraturen på engelsk. Det er derfor en prisværdig indsats forfatterne har gjort ved tilsammen at skabe dette kondenserede overblik på et passende teknisk niveau og på dansk! Bogen kan forhåbentlig danne basis for en lang række projekter i AT eller SRP i gymnasiet.

Michael Cramer Andersen

Science Fiction roman

Olaf Stapledon: "Stjernemageren", oversat af Martin Vinther Laursen og Loránd-Levente Pálfi, Science Fiction Cirklen 2013, 314 sider, 298 kr., www.sciencefiction.dk.



"Stjernemageren" er en roman skrevet af den engelske filosof Olaf Stapledon (1886-1950). Den blev udgivet første gang på engelsk i 1937. Det er første gang, at den udkommer i dansk oversættelse. De to oversættere har brugt to år på deltid på at omdanne det sprogligt vanskelige værk til dansk. Bogen er ikke letlæst – og det er ikke på grund af oversættelsen som er meget vellykket! Men det er meget filosofiske og abstrakte emner der udfoldes. Forfatteren fik sin ph.d.-grad i filosofi i 1925 fra University of Liverpool og skrev 9 faglitterære værker, bl.a. "A Modern Theory of Ethics" (1929).

Stapledon har stillet sig spørgsmålene (citeret fra bagsiden af bogen): "Findes der en universel menneskelighed i videste forstand? En essens i væren på tværs af tid og rum? Ja, på tværs af al tid og alt rum? Findes der en Gud? Hvilken rolle spiller mennesket i universet? Er kærlighed algyldig? Findes der en mening med livet? Disse er de primære emner og spørgsmål i Stjernemageren – en roman om eksistensen, universet og det guddommelige."

Bogen er ikke en traditionel roman og den kræver et vist overskud af læseren, idet der ikke er nogle personer i historien, kun en fortæller. Perspektivet skifter fra et menneske der til at begynde med har en vision om at finde "Stjernemageren". Derefter skifter perspektivet til stadig mere avancerede former for bevidsthed. Fokus skifter mellem forskellige planeter og der beskrives livsformer som kræver meget stor fantasi at forestille sig. Fx en meget avanceret fremtidig civilisation som har opnået udødelighed gennem genteknologi. Ét samfund af denne type (der er mange andre!) opnår fx superintelligens ved at alle individer er ligeså sammentømrede som elementerne i et nervesystem (side 159). Det får vore dages Internet til at blegne.

Fortællingen skifter også mellem forskellige tider og hele Universets udvikling beskrives mens forholdet mellem livet, bevidsthed, Universet og det guddommelige udforskes. Det er en science fiction historie om livets rolle i Mælkevejen og Universets fremtidige udvikling. Der er en slående lighed med "Fysisk eskatologi", som er beskrevet tidligere i bladet i en artikel af Helge Kragh (se KVANT nr. 4, 2010).

Stapledon har med denne roman foregrebet og inspireret mange senere science fiction forfattere og den danske udgave af bogen bydes velkommen!

Michael Cramer Andersen

Unge Forskere

SCIENCE I FORUM 27.-28. april

Oplev med hænder, krop og hjerne.
Naturvidenskab for alle aldre.
Tag familien og vennerne med.

Besøg også de 100 spændende finaleprojekter i talentkonkurrencen Unge Forskere fra skoler og gymnasier og mød landets klogeste hoveder.

Gratis entré:

søndag d. 27. april kl. 13-17

mandag d. 28. april kl. 9-13

- 2 scener
- Stor science & technology udstilling
- Fysik- og kemishows
- 3D printere
- Levende dyr
- Kør på segway
- Prøv masser af fede forsøg

Læs mere på scienceiforum.dk

H.C. Ørsted Medaljer til talentudviklere i gymnasiet

Af Dorte Olesen, præsident for Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU) tildelte den 2. december 2013 H.C. Ørsted Medaljen i bronze for fremragende formidling af naturvidenskab til lektor emeritus Niels Christian Hartling, Birkerød Gymnasium, og lektor Peter Arnborg Videsen, Viborg Gymnasium.

Selskabet modtog i 2013 en lang række meget flotte indstillinger, og det har været opmuntrende at se, at så mange kolleger og elever rundt om i Danmark har haft lyst til at indstille inspirerende lærere til Selskabets medalje. Udvælgelsen blev dermed en lidt vanskelig opgave for det nedsatte bedømmelsesudvalg, og til slut enedes man om helt ekstraordinært at uddele to medaljer i 2013.

Begrundelserne for de to tildelinger blev uddybet ved overrækkelsen:

“Niels Hartling har via sit virke som underviser på Birkerød Gymnasium indtil august 2013 gennem et helt arbejdsliv åbnet et stort antal elevers øjne for naturvidenskab, i særlig grad fysikken. Han har udarbejdet glimrende lærebøger, fx Spektrum I og II (skrevet sammen med Carsten Claussen og Erik Both), og i sin undervisning får han på bedste vis eksperimenter og teori koblet til mange af de naturfænomener, som eleverne selv direkte kan iagttage og undre sig over, både i hverdagen og i den omgivende natur.

Hartling var drivkraften bag at få etableret dansk deltagelse i Fysikolympiaden i 1995, og mange års indsats med danske gymnasieelevers deltagelse ved disse olympiader kulminerede i 2013 med, at Danmark var vært for den internationale Fysikolympiade, IPhO, på DTU og Niels Bohr Institutet.

Niels Hartling har også ført en succesrig kamp for at få elektromagnetisme genindført som et obligatorisk element i gymnasieundervisningen. Det er vi naturligvis glade for i H.C. Ørsteds gamle Selskab.”



Figur 1. Niels Hartling modtager medaljen af Dorte Olesen. Foto: Michal Wodzinski.

Om Selskabet:

Selskabet for Naturlærens Udbredelse – i daglig tale kaldet SNU – blev stiftet af H.C. Ørsted i 1824. Efter en større udlandsrejse så han et behov for også i Danmark at have et selskab hvor alle kunne komme og høre om de nyeste landvindinger inden for fysik og kemi. Han gav sig derfor til at holde forelæsninger hvor alle havde adgang. Denne tradition fortsætter idag, hvor Selskabet hvert år arrangerer 10 foredrag om aktuelle emner indenfor eksakt naturvidenskab.

SNU uddeler også H.C. Ørsted medaljer for fremragende forskning og formidling. Målgruppen for formidlingsmedaljerne har hidtil været videnskabsjournalister, ledere ved science museer og forskere med en stærk formidlingsaktivitet. Den er således fx tildelt Asger Høeg fra Experimentarium og Erik Schou Jensen fra Geologisk Museum. Fra 2012 tildeles den nu også inspirerende gymnasie-lærere. SNUs medlemmer er fortrinsvis nuværende eller tidligere universitetslærere og gymnasie-lærere indenfor teknik og naturvidenskab. Man kan læse mere om SNU på www.naturvidenskab.net og www.facebook.dk/SNU1824.



Figur 2. Tilhørerne ved foredrag den 2. december. Foto: Michal Wodzinski.

Om den anden medaljemodtager:

“Peter Arnborg Videsen har været gymnasie lærer i fysik og matematik på Viborg Gymnasium og HF siden 2007. Han er 39 år gammel og har allerede gjort en imponerende indsats for at formidle naturvidenskab på mange forskellige fronter, både i og uden for undervisningen og på både lokalt og nationalt plan.

Videsen forstår at engagere sine elever og har arbejdet meget på at forbedre den pædagogiske tilgang til undervisning, således at han kan løfte alle sine elevers niveau – uanset deres udgangspunkt. Han har bl.a. været med til at starte et projekt, hvor elever arbejder med et 'mindset', der gør dem åbne for at lære noget nyt. Dette projekt omfatter nu 18 af skolens klasser. Han er i øjeblikket talentkoordinator i projektet "Talent med bredde" i samarbejde med Århus Universitet i Foulum, hvor der arbejdes med et udvidet talentbegreb.

Han har derudover etableret masterclasses, arrangeret årlige ture til Science Center Sorø og været kontaktperson til Akademiet for talentfulde unge i Århus og forskerspire-projektet."



Figur 3. Peter Arnborg Videsen modtager medaljen. Foto: Michal Wodzinski.

Om H.C. Ørsted Medaljen i bronze til inspirerende gymnasielærere:

SNU besluttede i 2012 at sætte fokus på den vigtige formidling i gymnasiet ved i en årrække at uddele H.C. Ørsted Medaljen i bronze til inspirerende gymnasielærere og fremragende formidlere i den gymnasiale verden inden for Selskabets fagkreds.



En inspirerende gymnasielærer i naturvidenskab kan nemt være helt afgørende for, om en elev får en god indgang til at forstå den naturvidenskabelige og tekniske omverden. Det kan for mange også være en motiverende faktor i forbindelse med studievalg og vigtigt for, om man tør gå videre med en uddannelse, der kræver indsigt på det naturvidenskabelige eller tekniske felt. I 2012 blev medaljen uddelt til rektor Jannik Johansen, Frederiksberg Gymnasium.

KVANT-nyheder

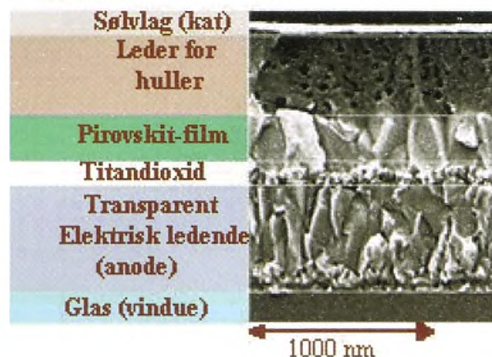
Af Sven Munk, KVANT

Perovskit-solceller på vej

HALVLEDERFYSIK. Lav pris og stor virkningsgrad er de permanente ønsker til solceller. Seneste bidrag har været, at lade det lysabsorberende lag være en såkaldt Perovskit-struktur. En forklarende bemærkning: Det er materiale med samme krystalstruktur som CaTiO_3 (perovskit). Forskere har realiseret det absorberende lag med et metalorganisk stof. Det er en halvt organisk og halvt uorganisk halvleder. Med det nye design er der opnået en virkningsgrad på 15 %, som forskerne på nuværende tidspunkt anser for ganske udmærket.

Den nye solcellekonstruktion har sine rødder i den farvestof-solcelle, som Michael Grätzel designede i begyndelsen af 1990'erne. Mekanismen i denne har tre trin: 1) lyset absorberes; 2) adskillelse af den positive (hul) og negative (elektron) ladning; 3) som opsamles af hver sin elektrode. Det lysabsorberende farvestof anbringes på en porøs film af TiO_2 . Titandioxiden tager sig af elektronerne. Denne ladningsdeling er forklaringen på den gode virkningsgrad, som dog efter 20 års udvikling ikke kommer over 13 %. Til gengæld er fremstillingen simpel og fleksibel.

Fladt absorptionslag



I 2009 præsenterede Tsutomu Miyasaka ideen om at erstatte farvestoffet og titandioxiden med et stof med Perovskit-struktur. Det viste sig, at meget tynde lag af Perovskit kan være særdeles effektive lysabsorbere, så man nåede hurtigt en virkningsgrad på 10 %. Det anvendte stof var blyholdige Perovskit-krystaller indlejret i TiO_2 .

En forskergruppe (Henry Snaith, University of Oxford) har meddelt, at Perovskit ikke blot er god til at opfange sollyset, men desuden klarer opgaven med at adskille og transportere de elektriske ladninger.

Selv om udsigterne ser lyse ud, er der ingen sikkerhed for, at den nye opskrift vil give salgbare produkter.

Kilder: Henry Snaith, University of Oxford; Michael Grätzel, ETH Lausanne, *Nature* 499, 316-319.

Mikrokugler sværmer

VÆSKEDYNAMIK. Hælder man en håndfuld små partikler ned i en roterende væske, synes der ikke at være grund til at forvente noget særligt. De fleste vil sikkert antage, at disse små partikler (mikrokugler) vil fordele sig ret jævnt i væsken. Men så enkelt er det ikke, og det har *Nature* nu en videnskabelig artikel om. I artiklen optræder begrebet selvorganisering om det iagttagne.



Figuren viser hvorledes små plastikkugler (2 μm) i den roterende væske (hexadecan) danner "mønstre". Denis Bartolo (Paris) udnytter et fænomen, som blev observeret allerede i 1896 af fysikeren Georg Quincke og derfor betegnes "Quincke-effekten". Ikke-ledende småpartikler kan sættes i rotation med et elektrisk felt. De roterende kugler blev, som beskrevet i artiklen, iagttaget i mikroskop og registreret med et højhastigheds-kamera. Er antallet af kugler lille, vil kuglerne synes at bevæge sig på tilfældig måde. Forøges antallet af kugler opstår der flere sammenstød. Efterhånden opstår der en kollektiv bevægelse, hvor kuglerne har større tendens til at følge hinanden. Visuelt vil det derfor virke som om, partiklerne er dele af noget større.

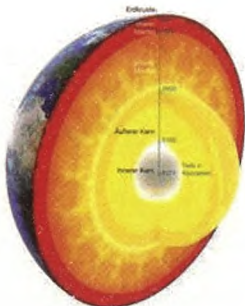
Kilder: A. Bricard et al., Emergence of macroscopic directed motion in populations of motile colloids, *Nature* **503**, 95-98 2013; Denis Bartolo, <http://www.pmmh.espci.fr/~bartolo/>; École Supérieure of Industrial Physics and Chemistry (Paris), <http://www.espci.fr/en/>; Université Paris Diderot, <http://www.univ-paris-diderot.fr>.

Urtidens magma-oceaner

GEOFYSIK. Hvilken struktur har den magma, som befinder sig langt inde i Jorden? Her er det smeltede basalt udsat for høj temperatur og stort tryk. Forskere har nu brugt røntgenkilden PETRA III i Hamburg til at besvare spørgsmålet. Basalten bliver stivere og får større massefylde.

Overordnet er dette relevant viden, dels når man vil kortlægge udviklingen af Jordens kerne og kappe for milliarder år siden, og dels for at forstå vulkansk aktivitet i vor tid.

Undersøgelsen er gennemført på den måde, at en lille Basalt-prøve på et par sekunder blev opvarmet til 3000 K ved hjælp af 2 IR-lasere. Prøven blev så anbragt mellem spidserne på et par millimeter-store diamanter (diamant-stempel-celle), hvorefter en hydraulisk kraft sørgede for at presse prøven sammen. Det opnåede tryk angives til at have været 600.000 atm, svarende til forholdene 1400 km nede i Jorden.



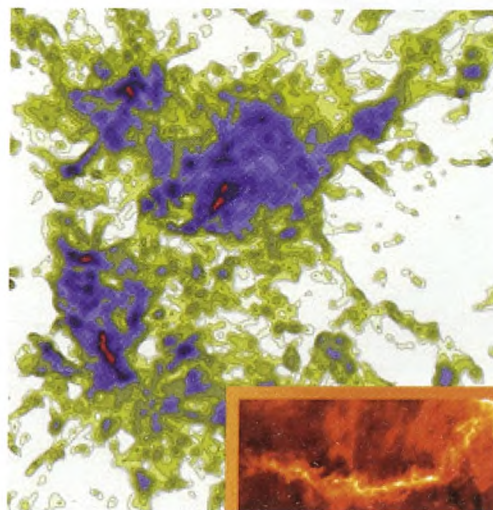
PETRA III, som er en meget kraftig røntgenkilde, blev brugt til at fremstille røntgen-diffraktionsmønstre for den varme hhv. kolde basalt. Si-ionerne i basalten omlejrede sig, så de omgav sig med 6 iltatomer ved stort tryk, medens der var 4 iltatomer ved lavt tryk. Denne forandring ændrede også massefylden fra 2,6 g/cm^3 til ca. 5 g/cm^3 . Denne forskel i

massefylde har ledt forskerne til at tale om "magma-oceaner" i Jordens indre kort efter Jordens dannelse. Tyndtflydende og let magma vil "flyde" ovenpå en tung og stiv magma. Ifølge geokronologiske overvejelser skønnes det, at sådanne magma-oceaner kunne eksistere i 10-40 mio. år. Modelberegninger kommer dog til et noget mindre tidsrum, omkring én mio. år.

Kilder: C. Sanloup et al., Structural change in molten basalt at deep mantle conditions, *Nature* **503**, 104-107 2013; PETRA III/DESY, http://www.desy.de/forschung/anlagen__projekte/petra_iii/

Turbulent stjernedannelse

ASTROFYSIK. Forskere i USA fremfører, at foruden gravitationskræfter har turbulens i de kolde gasskyer i omegnen betydning for dannelsen af en ny stjerne. Dette underbygger forskerne med omfattende computer-simuleringer. Disse resultater kan endog give forklaring på det længe ubesvarede spørgsmål: Hvilken sammenhæng er der mellem størrelse, tæthed og hastigheder i det indre af gasskyer. Turbulensens styrke vil påvirke størrelsen af den dannede stjerne.



Ovenfor ses et eksempel på en computersimulering af en turbulent stof-ansamling. Bemærk de lokale fortætninger og de uregelmæssige filamentar i det lille billede.

For over 30 år siden studerede astronomen Richard Larson (USA) molekyle-skyer. Ud af dette kom de tre Larson-love, som binder de relevante fysiske størrelser sammen. Først med disse nye computer-simuleringer har det kunnet fastslås, at de tre love ikke er uafhængige af hinanden, men har et fælles fysisk grundlag.

Kilder: A.G. Kritsuk et al., A supersonic turbulence origin of Larson's laws, *MNRAS* **436**, issue 4, pp. 3247-3261, 2013; Alexei Kritsuk, <http://akpc.ucsd.edu>.

Lysende natskyer

Af Jesper Grønne

Er lysende natskyer et tegn på igangværende klimaændringer? Hvordan opstår vanddamp så højt i mesosfæren? Hvorfor er forekomsten af lysende natskyer så høj under dette solmaksimum? Har lysende natskyer kun eksisteret i 128 år? Hvilke kerner dannes iskrystallerne omkring? Hvilken form har iskrystallerne? Hvilke processer foregår i og omkring mesosfæren? Hvilke processer heraf sker under indflydelse af den humane adfærd? Findes der menneskeskabte kunstige lysende natskyer? Mysterierne omkring lysende natskyer er langt fra løst endnu, men forskerne arbejder på sagen.

Mesopausen er hjemsted for lysende natskyer, også kaldet Noctilucent Clouds eller NLC. Højden er typisk omkring 83 km men svinger lidt. Under de rette betingelser, med hensyn til blandt andet temperatur/frysepunkt og forekomst af vanddamp, kan der dannes et meget tyndt lag af iskrystaller, der dispergerer lyset fra Solen, der i nattetimerne befinder sig omkring 10-15 grader under horisonten i en omtrentlig nordlig retning og derfra kan oplyse mesopausen, hvor de nat-skinnende skyer opstår.

Danmark ligger optimalt placeret for NLC observation, med hensyn til breddegrader, men NLC kan ses både et stykke nord og syd for Danmark. Sæsonen starter typisk i slutningen af maj måned og slutter engang i august.

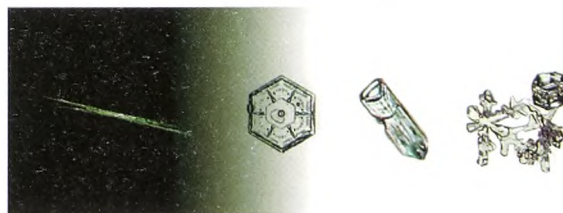


Figur 1. Himlens skumringsfarver dannes i atmosfæren under de lysende natskyer. De korte blålige bølgelængder spredes mest i atmosfæren, derfor når kun de langbølgede rødlige farver igennem til den nederste del af billedet. Ved den næsten vandrette synsretning, skal lyset passere "den lange vej" igennem en stor del af atmosfæren, hvormed de blålige farver spredes og forsvinder. Foto: Jesper Grønne.

Sommerens lysende natskyer – NLC, kaldes også for polarmesosfæriske skyer – PMC, ikke at forveksle med vinterens polarstratosfæriske skyer – PSC, der i daglig tale kaldes perlemorsskyer. Sidstnævnte befinder sig tydeligvis i stratosfæren og udviser typisk et spektakulært

farvespil i alle mulige iriserende farver, i modsætning til de lysende natskyer, der nærmest er sølvfarvede eller hvidlige, måske med et let blåligt skær. At NLC alligevel ofte ses i et flot farvespil, skyldes primært atmosfærens spredning af de korte blålige bølgelængder, i atmosfæren under de lysende natskyer – det fænomen der også giver de røde solnedgange.

Af grunde der endnu ikke er helt forståede og forklarede, kan der åbenbart dannes iskrystaller helt deroppe, på tærsklen til rummet, hvor det egentligt ikke burde være muligt. Iskrystallerne dannes formodentlig på kerner af små partikler, fx rester af mikrometeorider. Det ligger klart, at iskrystallerne er små, under 200 nm, men man kender ikke formen på krystallerne, ifølge [1]. I troposfæren dannes iskrystaller i mange forskellige former og størrelser, afhængig af forholdene i skyen. Hvilken form iskrystallerne antager i mesopausen, er meget usikkert, måske nåleformede, men det kræver yderligere studier at finde ud af det.



Figur 2. Forskellige troposfæriske iskrystalformer. Foto: Jesper Grønne.



Figur 3. Jordens atmosfære rammes hvert døgn af 44 tons meteorider ifølge NASA [2], langt det meste i form af mikrometeorider. Større meteorider ses som lysende meteoror på himlen. Større meteoror kan overleve faldet og lande på jorden som en meteorit. Foto: Jesper Grønne.

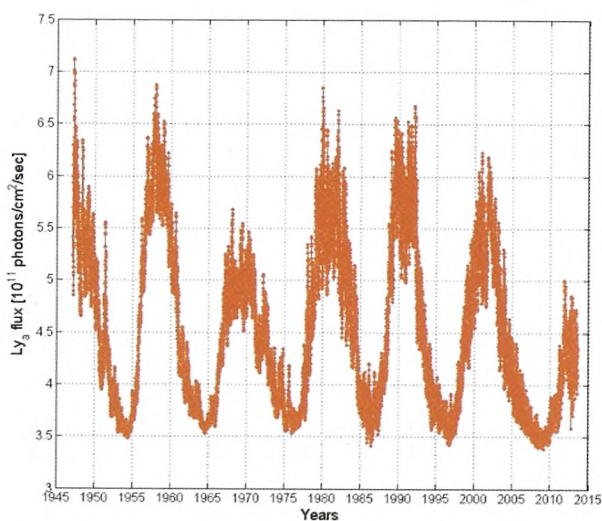
Atmosfærens opbygning

Magnetosfæren	800-millioner km
Exosfæren	500-190.000 km
Termosfæren	80-1000 km
Mesosfæren	50-80 km
Stratosfæren	8-50 km
Troposfæren	0-16 km

Det er almindeligt antaget, at man først observerede NLC i 1885, efter et gevaldigt vulkanudbrud fra Krakatoa, der angiveligt pumpede tonsvis af vanddamp og aske højt op i mesosfæren. Om der faktisk eksisterede NLC før 1885 er naturligvis vanskeligt at sige med sikkerhed, måske var de bare svage og fik ingen opmærksomhed? Ud over vulkaner, kan raketopsendelser og meteoror efterlade vanddamp og støv i atmosfæren, både i stratosfæren og i mesosfæren. Dispergeret sollys herfra kan nogle gange ses på himlen efter solnedgang. Fx kunne man, kort efter det forholdsvis store russiske meteoritnedfald i 2013 se lysende natskyer – i februar, altså helt udenfor NLC-sæsonen.



Figur 4. Det interplanetariske rum i solsystemets baneplan indeholder store mængder støv eller mikrometeorider, det ses som zodiakallyset. Den skæve kegleform strækker sig fra horisonten, forbi Plejaderne til Mælkevejen. Denne store støvskive er tættest nær Solen, men strækker sig ud til de store gasplaneter. Foto: Jesper Grønne.



Figur 5. Solens aktivitet de sidste godt 60 år, der kan endnu nå at komme en ny og højere spids i indeværende solmaksimum, som set i forrige cyklus.

Solens aktivitet svinger op og ned, i en cyklus på omkring 12 år. Der har vist sig en tendens til, at NLC er stærkere og hyppigere under solminimum, vi er nu i nærheden af et solmaksimum, så aktiviteten burde være svagere end gennemsnittet. Hvis man følger med på SpaceWeather.com, ser man at forskere fra NASA tilsyneladende mener, at det er bemærkelsesværdigt, at NLC-sæsonen startede lidt tidligere end forventet i 2013 og aktiviteten er ret kraftig. De første danske NLC i 2013 blev i øvrigt fotograferet den 24. maj i Silkeborg. På den anden side, så er det igangværende solmaksimum ca. 1,5 gange svagere, end et typisk solmaksimum, ifølge svenske forskere (se figur 5). Af denne grund synes de svenske forskere ikke, at det er specielt underligt, at se NLC lidt tidligt og tydeligt i år, i forhold til et typisk solmaksimum.

Amerikanske forskere funderer over, om øget NLC forekomst kan være en tidlig advarsel om klimaændringer. Nyere data fra NASA-projektet AIM (Aeronomy of Ice in the Mesosphere) [3] indikerer, at det kunne være en mulighed. Ifølge professor James Russell fra AIM, kan øgede metan-emissioner finde vej til den øvre atmosfære, her undergå en serie reaktioner med ilt, hvormed der dannes vanddamp, der så danner meget små iskrystaller på de tilstedeværende partikler – dermed opstår flere lysende natskyer. AIM data er dog ikke tilstrækkelig langsigtet til, at man herfra kan drage nogle konklusioner omkring klimaændringer.

Andre amerikanske forskere, fra bl.a. University of Hawaii, mener at solvinden kan skabe vand på overfladen af interplanetariske støvpartikler. Disse støvpartikler rammer dagligt Jordens atmosfære og kan potentielt medbringe vand hertil. Brintionerne i solvinden bombarderer silikat-krystallerne i de interplanetariske støvpartikler og efterlader ilt, der nemmere reagerer med brint – og danner små mængder vand på overfladen af støvpartiklerne [4].



Figur 6. Sølvskinnende lysende natskyer i nordlig retning efter midnat. Foto: Jesper Grønne.

Dr. Peter Dalin fra Institut for Rumfysik i Kiruna, har i en årrække haft et langsigtet projekt kørende, med kontinuerlige optagelser af NLC hver nat i sæsonen,

år efter år, i et netværk af observatører rundt om 56. nordlige breddegrad, placeret i Sverige, Litauen, Moskva, Novosibirsk, Kamchatka, Canada, Skotland og i Danmark. Projektet skal blandt andet påvise en evt. langsigtet udvikling i lysstyrken og forekomsten af NLC. Data herfra viser indtil nu ingen, eller kun en lille øgning i lysstyrken fra de lysende natskyer [5].

Kunstige lysende natskyer

De sidste par år er der fotograferet "kunstige" lysende natskyer i Danmark, den 27. juni 2011 og den 8. juni 2013, begge gange forårsaget af raketopsendelser i Rusland. Observationen i 2011 er veldokumenteret og viser blandt andet, at kunstige lysende natskyer kan opstå i mesopausen, efter en raketopsendelse, og derefter bevæge sig over store afstande. Dr. Peter Dalin, IRF m.fl. har lavet en videnskabelig artikel herom [6].



Figur 7. Den lyse stribe øverst er kunstige mesosfæriske lysende natskyer, set over Danmark efter en raketopsendelse i Rusland i 2011. Længere nede i billedet ses naturlige lysende natskyer, derunder almindelige mørke troposfæriske skyer. Foto: Jesper Grønne.

Ifølge artiklen var striben i mesopausen, forårsaget af raketens udstødning, meget vedholdende i sin fremtoning. Der var næsten ingen ændring, mens den i løbet af 9 timer bevægede sig fra Plesetsk i Rusland, via Danmark til Skotland. Dette indikerer ekstremt stabile atmosfæriske forhold, episoden introducerer et nyt stadie i sommer mesosfæren – "bemærkelsesværdigt rolige forhold", hvilket formodentlig ikke er observeret før.

Samtidige optagelser fra Silkeborg og Aarhus viser en unik kombination af 2 sjældne atmosfæriske fænomener; naturlige lysende natskyer og kunstige lysende natskyer, skabt af udstødningsgas fra en raket (se figur 7). Optagelserne muliggør også en beregning af fænomenernes højde og horisontale udstrækning. De naturlige NLC var i en højde af 82,09 til 83,98 km, hvilket er typisk. De kunstige NLC var i en højde af 68 til 77 km, med en horisontal længde på omkring 310 km og en horisontal tykkelse af striben på 5-9 km. På denne webadresse: <http://astrophoto.dk/Rocket-trail.mov> kan man se en time-lapse video, der tydeligt viser striben med de kunstige NLC og de naturlige NLC, der begge bevæger sig fra øst mod vest, med en hastighed svarende til 53-66 m/s. Hvilket er en typisk vindhastighed i mesosfæren om sommeren.



Figur 8. Lysende natskyer med tydelige tyngdebølger, minder lidt om et meget tyndt lag røg i den øvre atmosfære, som stjernerne tydeligt ses igennem. Bør mesopausen blive røgfri zone, af hensyn til klimaet, eller er der måske ikke en væsentlig direkte sammenhæng mellem klimaændringer og forekomsten af lysende natskyer? Det bliver spændende at følge forskningens fremskridt på området. Foto: Jesper Grønne.

Jorden har gennemgået mange naturlige klimaforandringer gennem flere milliarder år, ligeledes har der "altid" været meteorider og vulkaner, der kan give støv og vanddamp i atmosfæren. Det er derfor svært at tro, at der ikke har eksisteret NLC før vulkanudbruddet i 1885, men det er blot spekulation. Klimaet ændrer sig, det er ganske vist, men hvor meget er naturligt og hvor meget er påvirket af mennesker? Et godt spørgsmål, svaret hænger i luften.

Litteratur

- [1] Alexander A. Kokhanovsky, Microphysical and optical properties of noctilucent clouds, http://www.iup.uni-bremen.de/~alexk/8_NLC_review.pdf
- [2] NASA-webside om "Meteors & Meteorites" under: <http://solarsystem.nasa.gov/planets>
- [3] NASA-projektet AIM (Aeronomy of Ice in the Mesosphere), <http://aim.hamptonu.edu>
- [4] University of Hawaii, nyhed d. 7. februar 2014, <http://manoa.hawaii.edu/kaunana/space-dust-carries-water-and-organic-compounds>
- [5] Polar Atmospheric Research: A network of automated cameras for NLC studies, http://www.irf.se/program/afp/?dbfile=NLC_NETWORK&dbsec=P1
- [6] P. Dalin et al (2013), Optical studies of rocket exhaust trails and artificial noctilucent clouds produced by Soyuz rocket launches, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* Vol. 118, issue 14, p. 7850-7863, July 2013.



Jesper Grønne,
amatørastronom,
himmelfotograf og skribent.
www.hvadihimlen.dk,
www.groenne.eu.

Om fysikopgaver – kommentar til breddeopgave om Stigefald

Af Per-Anker Lindgård

Fysikopgaver kan være farlige, endda livsfarlige! Det gælder især, hvis der bedes om svar på et realistisk problem, som der typisk tilstræbes i breddeopgaverne fra RUC. Der kan være gode pædagogiske grunde til på denne måde at gøre en opgave nærværende og interessant. Formålet er imidlertid egentlig blot, at der skal findes og løses en simplificeret matematisk model (rationel mekanik hed det engang). Her er det så vigtigt, at man knivskarpt forstår de ofte skjulte præmisser. En løsning til den simplificerede model kan være korrekt, men den nærliggende konklusion om det reelle problem kan være fatalt forkert. Et eksempel på dette har vi i breddeopgave 55, som er diskuteret i Kvant nr. 2 og 3 i 2013.

Indledning

Den givne løsning var, at en person på toppen af en faldende stige optimalt straks bør give slip for at slå sig mindst muligt. I den efterfølgende kommentar diskuteres det ikke, om dette kan være korrekt, hvis en person faktisk står i den situation. Derimod diskuteres stigens ret komplicerede fald indgående. Det er imidlertid ikke relevant i forhold til den stillede opgave. Generelt, er det ikke særlig fordelagtigt at holde fast i toppen af en faldende stige, der også skrider. I kommentaren anbefales det igen straks at slippe. Men det er forkert.

Lad mig formulere opgaven så man bedre fornemmer situationen: En nybagt kandidat i fysik er kravlet helt til tops af en meget høj, næsten lodretstående, og uforsvarligt forankret stige (burde han ikke have tænkt sig lidt om inden, en kvindelig ditto ville nok klogeligt ikke have turdet kravle op, per intuition). Da stigen så begynder at vælte, slipper han straks taget; og i det frie fald når han lige at sige: "Ha! Jeg har beregnet, at nu slår jeg mig mindre ihjel, end hvis jeg havde holdt fast i stigen". En person i samme situation, men uden fysikkundskaber, ville nok instinktivt føle, jeg må prøve at udnytte stigen – ihvertfald ikke bare give slip. I et splitsekund tænker han:

- hvis jeg sejler på stigen til jeg får stor fart fremad, kan jeg springe ned og løbe derfra.
- jeg kunne kure ned og så springe.
- jeg kunne skynde mig at tage nogle trin ned og så måske kure resten af vejen osv.

Heldigvis, uanset hvad han vælger, vil han ved at udnytte stigen som redningsplanke, kunne afbøde faldet i forhold til det direkte spring i døden (man kan ret nemt beregne de forskellige scenarier, se nedenfor). En stuntman (eller en abe) ville med sin trænedes fysiske intuition, umiddelbart vælge den optimale løsning under de givne forhold og sikkert slippe helskindet derfra (og der er mange forhold at vurdere: stigens højde, underlagets beskaffenhed, han har både arme og ben, han kan hoppe, springe, løbe og rulle, står stigen op ad en mur eller en gren, osv.)

Morale

Breddeopgaverne afsluttes gerne med et: Begrund svaret. Det burde snarere være: Diskuter svaret. Man bør

opmuntre studenterne til efter en løst opgave, at gå lidt på afstand og vurdere det fremkomne svar. Passer det med min intuition? Hvis ikke, hvad kan være galt? Har svaret relevans for den egentlig stillede opgave? Hvis svaret er nej; kan en acceptabel kommentar være: kræver nøjere analyse, jeg har kun løst et simpelt scenarie. Eller, opgaven er ikke tilstrækkeligt defineret, så jeg har selv specificeret den til følgende..., osv.

Det er absolut en fordel, at studenterne lærer at opstille og beregne forskellige simplificerede scenarier, men det skulle helst ikke gå ud over deres medfødte evne til at løse fysiske problemer, instinktivt – eller intuitivt. Der er selvfølgelig mange andre slags fysiske opgaver, hvor det menneskelige instinkt ikke hjælper, men intuition er nu alligevel ikke at foragte.

Alternative løsninger på Stigefald

Tilfældene kan groft beregnes ved energibetragtninger af følgende simplificerede scenarier:

a) Antag situationen kan beskrives som et punkt med massen m , for enden af en (på en vandret flade) lodretstående, stiv og uniform stang med massen M og længden L . Ved et frit fald af m fra højden L , vil den kinetiske energi ved jorden være $E_0 = \frac{1}{2}m(2gL)$ og faldtiden $t_0 = \sqrt{2L/g}$, hvor $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Det antages at det er den lodrette kinetiske energi, der giver slaget ved faldet. Når stangen vælter, vil bevægelsen af m være bundet til en cirkel. Hvis den tangentielle hastighed, ved et vælt på vinklen θ fra lodret, er v , så er den vandrette hastighed $v \cdot \cos(\theta)$ og den lodrette hastighed $v \cdot \sin(\theta)$; der er da faldet stykket $L(1 - \cos(\theta))$ og der refterer højden $L \cdot \cos(\theta)$ at falde.

Lad os kalde $\cos(\theta)$ for x . Den vandrette kinetiske energi er nu $E_0 \cdot f \cdot x^2(1-x)$, hvor $f = \frac{m+M/2}{m+M/3}$ er en faktor, der tager højde for stangens masse og inertimoment (som udregnet i besvarelsen af opgave 55). Den maksimale vandrette kinetiske energi fås ved differentiering mht. x og giver $x = \frac{2}{3}$, dvs. når der refterer $\frac{2}{3}$ af faldhøjden. Måske skulle man slippe der?

Men det er den lodrette kinetiske energi, der er mest interessant. Den er givet ved $E = E_0(f \cdot (1-x^2)(1-x) + x)$, hvor sidste led repræsenterer et frit fald det sidste stykke. Minimum findes nu ved ligningen: $3x^2 - 2x - (1 - 1/f) = 0$, med løsningen

$$x = 1/3 + \sqrt{1/9 + (1 - 1/f)/3}.$$

For $M \ll m$, $f = 1$, fås igen $x = \frac{2}{3}$, hvilket svarer til $\theta = 48^\circ$ og $E = 0,85E_0$, altså en reduktion med 15 % i forhold til det frie fald. For $M \gg m$, $f = 3/2$, fås $\theta = 36^\circ$ og $E = 0,91E_0$, igen en reduktion, dog kun på 9 %. Denne simple lille ekstra betragtning viser, at man ikke skal slippe straks (som konkluderet i opgavebesvarelsen), men at det derimod kan svare sig at holde fast og først slippe taget undervejs. Hvis stangen skulle begynde at skride, inden den optimale vinkel er opnået, er det klart bedst at slippe straks skridningen begynder – og ikke før (kan også beregnes). Det er selvfølgelig ikke meget man opnår.

Så lad os se på b) “at kure ned”. Nu er bevægelsen af m bundet til stangens retning. Den lodrette hastighed er da $v \cdot \cos(\theta)$. For $M \ll m$ er den lodrette kinetiske energi givet ved $E = E_0(x^2(1 - x))$. Den er 0 for $x = 0$, dvs. hele den potentielle energi er omsat til vandret kinetisk energi. Man bør slippe, hvis stangen begynder at skride.

I tilfælde c) tager man hensyn til at det faktisk er en stige. Og man kan derfor ved hastigt at tage nogle

trin nedad stigen reducere den potentielle energi uden at veksle den til kinetisk energi. Altså kan man først reducere noget af den totale energi af problemet.

Ovenstående er gennemgået nogle simple scenarier. De bør ikke betragtes som løsninger på den oprindelige opgave. For en realistisk, optimal løsning af denne, bør man foretage en nærmere analyse af de givne forhold, og beregne udfaldet for det mest lovende scenarie. Man kan dog med sikkerhed konkludere, at man under ingen omstændigheder straks bør give slip på stigen!



Per-Anker Lindgård, dr. scient., har været seniorforsker i fysikafdelingen på det daværende forskningscenter Risø med speciale i faste stoffers fysik. Derudover har han været adjungeret professor i biologisk fysik ved DTU. Har været formand for faststofsektionen i DFS, senere aktiv i bestyrelsen af EPS og stifter og formand for Division of Biological Physics i EPS.

Svar fra opgavestilleren

Det er prisværdigt, at Per-Anker Lindgård inviterer til didaktisk diskussion af fysikopgaver. Det er der ikke for meget af. Især ikke vedrørende fysikopgaver på universitetsniveau. Som svar på indlægget vil jeg kommentere to udfordringer ved formuleringen af breddeopgaver. Den ene udfordring drejer sig om deres sværhedsgrad. Den anden udfordring knytter sig til deres anknævn til realistiske problemer.

Breddeopgavernes åbne formuleringer, hvor selve formaliseringen af problemet som led i dets løsning er en vigtig del af besvarelsen, gør dem umiddelbart svære. Når vi alligevel fastholder opgaveformen på RUC er det, fordi vi finder evnen til at identificere og formalisere et problem som et fysikproblem som vigtig for en fysiker. Og fordi den evne ikke trænes ved mere fortyggede opgaver. Vi er således, som jeg læser Per-Anker Lindgårds kommentar, helt på linje med ham, hvad angår ambitionen. Med “Begrund svaret” menes både forklar svaret og diskuter svaret. Men, hvor problemerne angående stige-faldet, som han ønsker det analyseret, egner sig godt til et projektarbejde på RUC over et semester, overstiger det, hvad der kan forventes af en bachelor studerende på den time, der er afsat per breddeopgave ved eksamen. Det er en løbende udfordring ved formuleringen af breddeopgaverne at finde balancen imellem at udfordre de studerende og at give dem tilstrækkeligt med succesoplevelser.

Når vi tilstræber, at breddeopgaverne skal vedrøre virkelige, ikke tænkte, problemstillinger, er det dels, som Per-Anker Lindgård anfører, for at gøre opgaverne nærværende og interessante. Men mere afgørende er

det for at kunne formulere opgaverne i dagligdags sprog, således at den nøjere præcisering af problemerne i fysiske termer bliver et centralt punkt ved opgaveløsningen. Behandlingen af de virkelige problemer er ikke målet. Det kan det i højere grad være i et projektarbejde. De virkelige problemer er et middel til at lære de studerende at tænke som fysikere: Start enkelt. Vælg den simplest mulige model, og regn først på den. Fanger den essensen? Hvis ikke, så komplicer gradvist, indtil essensen er fanget. Men komplicer ikke mere end nødvendigt. I projekterne på RUC er der mere plads til ingeniør tilgangen forpligtet på det konkrete og komplekse som mål og udfordring.

Stigefaldsopgaven havde den rigtige sværhedsgrad, og var ikke i den simple opfattelse af den udtryk for afprøvning af rutiner hos de studerende mekanisk. Men den var sjusket formuleret. Som gennemgået i min kommentar til opgaven skrider stigen under alle omstændigheder, hvis ikke dens fodpunkt er hængslet. Og Per-Anker Lindgårds udregning af, hvordan det betaler sig at sejle med stigen et stykke vej fremfor at slippe ved starten af faldet, kan jeg helt tilslutte mig. Så opgaven skulle have handlet om “en hængslet stige” fremfor “en stige”, og “give slip med det samme” fremfor “give slip”. Heldigvis er – som nævnt i min kommentar til opgaven – den didaktiske kontrakt mellem lærere og studerende ved kurserne i fysisk problemløsning ikke, at de til eksamen skal bedømmes på andelen af rigtigt besvarede opgaver. Kontrakten er, at de skal bedømmes på, om de udviser tænkning af den slags, som Per-Anker Lindgård efterlyser. Derfor har sjusket heller ikke udgjort noget problem.

Jens Højgaard Jensen

Raketligningen og Keplers anden lov – breddeopgave 56 og 57 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.

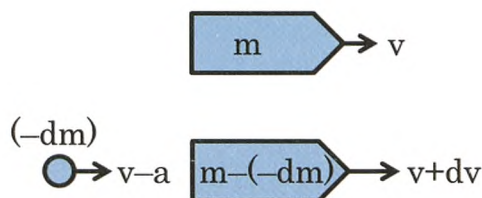
Her bringes løsninger og kommentar til opgaverne fra forrige nummer samt to nye opgaver. Opgaverne i sidste nummer af KVANT var disse breddeopgaver (nr. 56 og 57 i rækken her i KVANT):

Breddeopgave 56 og 57. Raketligningen og Keplers 2. lov
Forklar virkningen af en raketmotor i det lufttomme rum.

Ifølge Keplers anden lov overstryger forbindelseslinjen fra Solen til en planet lige store arealer i lige store tidsrum. Forklar loven.

Løsning

56. En raketmotor virker ved, at der løbende sparkes materiale bagud. På figur 1 (øverst) har vi raketten med hastigheden v , i forhold til fx Jorden, og massen m , til tiden t . På figur 1 (nederst) har vi den samme masseansamling som på den foregående figur, men til tiden $t + dt$. I mellemtiden er massedelen $-dm$ (rakettens tilvækst er negativ) fyret baglæns ud af raketten med udstødningsfarten a i forhold til raketten, og farten $v - a$ i forhold til Jorden. Raketten har nu massen $m - (-dm)$ og hastigheden $v + dv$ i forhold til Jorden.



Figur 1. Øverst: Raket med brændstof til tiden t . Nederst: Samme masseansamling til tiden $t + dt$.

Da den betragtede masseansamling er et isoleret system, er den samlede impuls den samme til tiden t og til tiden $t + dt$:

$$mv = (-dm)(v - a) + (m - (-dm))(v + dv). \quad (1)$$

Idet der kan ses bort fra leddet $dm dv$ i grænsen for små tilvækster, fås heraf $dv = -a dm/m$, og ved integration:

$$v_{\text{slut}} - v_{\text{start}} = a \ln \frac{m_{\text{start}}}{m_{\text{slut}}}. \quad (2)$$

Ligningen viser, hvordan øgningen af raketens hastighed afhænger af udstødningshastigheden fra raketmotoren og

mængden af materiale sparket bagud. Med $v_{\text{start}} = 0$ kan ligningen omskrives til:

$$m_{\text{start}} = m_{\text{slut}} \exp\left(\frac{v_{\text{slut}}}{a}\right), \quad (3)$$

der viser, hvor stor en startmasse der skal til, for at tildele en given slutmasse hastigheden v_{slut} .

57. Hvis $A(t)$ er arealet, som forbindelseslinjen fra Solen til en planet har overstrøget i dens elipsebane siden $t = 0$, er $dA(t)/dt$ givet som afstanden $r(t)$ fra Solen til planeten gange en halv gange hastighedskomponenten vinkelret på forbindelseslinjen. Derfor har vi:

$$\frac{dA(t)}{dt} = \frac{1}{2} r(t) r'(t) \frac{d\Theta(t)}{dt}, \quad (4)$$

hvor $\Theta(t)$ er ændringen af retningen til planeten set fra Solen siden $t = 0$.

Højresiden af ligning (4) er, bortset fra den manglende massefaktor, også det halve af planetens impulsmoment omkring Solen. Da gravitationskraften fra Solen på planeten er i retning af forbindelseslinjen, giver den ikke anledning til noget kraftmoment omkring Solen. Følgelig er impulsmomentet og højresiden af ligning (4) konstant. Derfor har vi:

$$A(t) = \text{konstant} \cdot t, \quad (5)$$

hvilket jo indebærer, at lige store arealer overstryges i lige store tidsrum.

Kommentar

1. En af mine yndlingsreferencer er et citat fra den russiske anarkist og geograf P. Krapotkin's "Haandens og Hjærnens Arbejde", skrevet i 1898 (side 198 i den danske udgave fra 1904):

"Set i dette Lys er de Resultater, man har naaet i Moskva-Skolen, aldeles ikke forbavsende, og man kunde rimeligvis naa endnu videre, hvis man allerede i de første Undervisningsaar begyndte at anvende disse Principper for Opdragelsen. Vort nuværende Undervisningssystem udmærker sig især ved, at Tiden bortødsles paa rent uforsvarlig Maade. Ikke alene lærer vi en Mængde overflødige Ting, men det, der ikke er overflødigt, bliver bibragt os paa en Maade, saa at vi spilder saa megen Tid som vel muligt derved.

Vore nuværende Undervisningsmetoder stammer fra en Tid, da de Fordringer, der stilledes til et Menneskes Dannelse, var yderst beskedne, og vi er blevne staaende ved dem til Trods for, at Fordringerne til Kundskab er stegne uhyre, efter at Videnskaben saa stærkt har udviklet sit før meget

begrænsede Felt. Deraf følger, at *Eleverne overlæsses*. Det bliver imidlertid tvingende nødvendigt at underkaste baade Undervisningsstoffet og Undervisningsmaaden en alvorlig Revision, der svarer til de nye Fordringer og til de Eksempler, som allerede nogle Skoler og enkelte Lærere har givet os." (mine fremhævelser)

Som efterlignelsesværdigt eksempel omtaler Krapotkin først og fremmest den nævnte Moskvaskole, som er en teknisk skole i Moskva. Her bliver i fx geometriundervisningen "hver Sætning stillet som en Opgave, Beviset gives ikke paa Forhaand, Eleven bliver nødt til selv at finde det." I modsætning til den normale geometriundervisning. Her "spildes Tiden ganske taabeligt ved at anvende en Metode, der nærmest lægger Vægt paa Udenadslæren. I de fleste Tilfælde læser Eleven Beviset for en Læresætning om og om igen, indtil det rent mekanisk fæster sig i hans Hukommelse."

Den opmærksomme læser kan måske gætte, at jeg, siden jeg holder af citatet, regner Breddekurset på RUC for at være et sidestykke til Krapotkin's Moskvaskole, hvor tiden ikke bortødsles og eleverne ikke overlæsses. Svarene på de to opgaver i artiklen her er ofte lærebogsstof i introducerende fysikundervisning på universitetsniveau. På breddekurset har der ikke været undervist i de to problemer forud for de eksamener, hvor de blev stillet som eksamensopgaver. Sidenhen har de to problemer indgået i samlingen af tidligere eksamensopgaver, der er det afgørende udgangspunkt for undervisningen. Lærebogen er supplerende læsning i forhold til opgavesamlingen. For ikke at være udelukket fra at stille opgaver, som de to her, må der ikke medbringes bøger m.m. til eksamen.

Udover, at Krapotkin-citatet kan bruges til at fremføre egne synspunkter, er det også nyttigt til at vise, at brydningen mellem deduktivt, docerende og induktivt, aktiverende undervisningsstrategier, ikke er af ny dato. Citatet er ikke uaktuelt nu mere end hundrede år senere. Moskvaskolens og Breddekursets undervisningspraksis er eksempler på kompetencestyret frem for pensumstyret undervisning. Det tales der meget om i disse år. Men det praktiseres i meget begrænset omfang.

2. Min far, Henning Højgaard Jensen, gjorde mig engang opmærksom på en artikel (J. W. Campbell, "Rocket Flight to the Moon", *Philosophical Magazine*, 1941 I, p. 24-34.) med anknytning til besvarelsen af opgave 56.

I artiklen argumenteres der for, at det aldrig vil lykkes at bringe mennesker til Månen og tilbage igen, fordi værdien af eksponentialfunktionen i ligning (3) er for stor. Hvis raketten brænder al sit brændstof af nær Jorden, skal den, for at nå til Månen, herved ca. opnå løsrivelseshastigheden fra Jordens tyngdefelt, $v_{\text{slut}} = \sqrt{2gR} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \text{ m s}^{-2} \cdot 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}} = 11,2 \text{ km/s}$. Til sammenligning hermed er de opnåelige udstødelseshastigheder ved brug af kemisk brændstof ca. $a = 2,5 \text{ km/s}$, når der tages højde for hvor høje temperaturer raketmotorens materialer kan tåle, og hvor små udstødningspartikler, der kan produceres. Og det giver ifølge ligning (3) en faktor 88 for forholdet mellem startmassen og slutmassen. For at få en nyttelast svarende til en bil sendt til Månen skal der altså sendes en masse svarende til et rådhusår af sted til en start.

Der er ikke her taget højde for massen af brændstofbeholderen og benyttelsen af flertrinsraketter for at skaffe sig af med tomte brændstofbeholdere. Der er heller ikke taget højde for den varierende styrke af tyngdefeltet og luftmodstanden under opsendelsen. Disse forhold medfører mindre korrektioner. Det afgørende er eksponentialfunktionen i ligning (3). Og det afgørende for Campbells fejlagtige forudsigelse er, at han opløfter den til anden potens, fordi han forestiller sig, at nedbremsningen ved tilbaketuren fra Månen skal foregå ved brug af brændsel tilsvarende brugen ved udturen. Han når herved frem til, at en sådan raketfærd vil kræve en raket, hvis masse til en start var som massen af Mt. Everest! For at bringe en nyttelast svarende til en bil tilbage til Jorden fra Månen må en raket som et rådhusår sendes til Månen, og for at gøre det må der altså startes ud med en raket af størrelse som Mt. Everest. Og det vil rent praktisk aldrig ske.

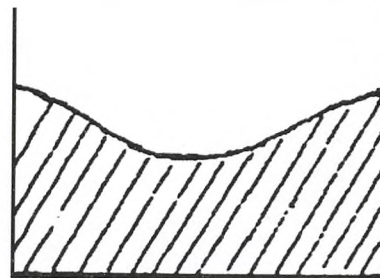
Historien er efter min mening en god illustration af, hvad der kan gøre videnskab dårlig. Videnskab er dårlig, hvis: a) for meget er overset; b) der ikke er set bort fra tilstrækkelig meget. I tilfældet Campbell overser han muligheden af at nedbremse raketten ved hjælp af luftmodstanden i atmosfæren. Til gengæld er hans regnestykker ganske omfattende med mange detaljeovervejelser sammenlignet med den lige vej til ligning (3). I en senere dansk artikel (E. Buch Andersen, "Rumfartsproblemet", *Fysisk Tidsskrift*, 45, 1947, p. 105-113.) når Andersen på samme måde som Campbell frem til, at en månefærd baseret på nedbremsning ved udstødning af forbrændingsprodukter i fartretningen er teknisk uigennemførlig. Men i modsætning til Campbell overser han ikke nedbremsning i kraft af luftmodstanden i atmosfæren som den fremtidige mulighed.

Breddeopgave 58 og 59. Centrifuge og tehvirvel

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra samlingen af breddeopgaver fra opstarten af breddekurset i 1976 og fra vintereksamen 2008, nr. 58 og 59 her i rækken i KVANT):

Hvilken form har overfladen af en væske i en centrifuge? Begrund svaret.

Når der røres rundt i en kop te eller et glas vand, stiller overfladen sig typisk som antydte på figuren:



Hvad viser det om væskebevægelserne? Begrund svaret.

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer.

Vor magnetiske sol

Af Søren Bertil Fabricius Dorch, Syddansk Universitet og Sven Ove Thimm, Hjørring Gymnasium

Solen kan være meget aktiv med voldsomme udbrud. Til andre tider sløv og rolig. Hvad er egentlig solaktivitet, hvordan opstår de store variationer, og hvad kan vi forvente i den nære fremtid?

Solen er som bekendt en enorm kugle af "gas" (70 % hydrogen og 28 % helium), som i det indre består af et plasma af fuldstændigt ioniserede atomer. I centrum, hvor temperaturen er $15,7 \cdot 10^6$ K, produceres energi ved fusionsprocesser, der transporteres relativt langsomt ud som fotoner. Cirka tre-fjerdedele af vejen ud til Solens "kølige" overflade starter en konvektionszone, fordi atomer begynder at rekombinere, hvilket medfører større absorptionsevne, så fotonerne ikke mere kan klare transporten af energi alene. Stoffet bliver turbulent og konvektion opstår, hvilket observeres på overfladen som en grynet struktur, granulation. Temperaturen er dog stadig høj nok til, at atomer hele tiden ioniseres, for senere igen at rekombinere. I dette turbulente mix af atomer og ioner, og deres elektriske og magnetiske felter, foregår de processer, vi kalder "solkaktivitet".



Figur 1. Solen i synligt lys den 23-10-2013. Figur 5 og 7 er fra samme dato [1].



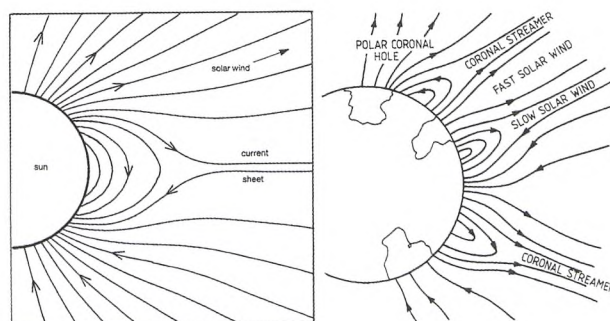
Figur 2. Ved en total solformørkelse, som her i august 1999 [2], bliver koronaen synlig.

Magnetfelt og solaktivitet

Den solskive, vi ser på himlen, kaldes fotosfæren (se figur 1); den er ikke en egentlig fysisk overflade, men

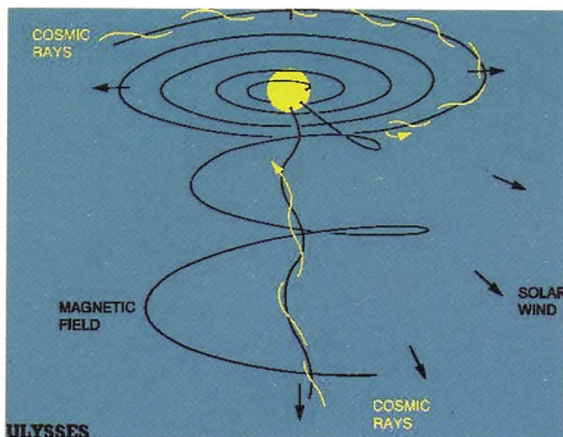
lyset kommer fra et område med en tykkelse på nogle få hundrede km. Under en total solformørkelse kan man se et tyndt lag ovenover fotosfæren, kromosfæren, med en flot rødlig farve, som også er farven på de protuberanser, der rager ud i koronaen, der ses som en glorie af lysende gas (se figur 2).

Temperaturen aftager op gennem fotosfæren og når et minimum på ca. 4000 K, hvorefter den stiger lidt i kromosfæren, for så pludseligt at stige voldsomt til flere millioner grader i koronaen, hvilket bevirker en høj grad af ionisering af stoffet og en ekspansion af plasmaet ud i Solsystemet som en "solvind". Protuberanser er fortætninger af stof, der holdes på plads af magnetfelterne, og de har en temperatur, der er tilstrækkelig lav til, at en del af koronaens brint også optræder på atomar form. Spektralfordelingen for fotosfæren følger med god tilnærmelse en Planck-kurve med $T_{\text{eff}} = 5770$ K, men lysets passage gennem koldere lag af fotosfæren sikrer dannelse af utallige absorptionslinjer, der giver os informationer om de fysiske forhold, herunder styrken af magnetfeltet ved hjælp af Zeeman-effekten.



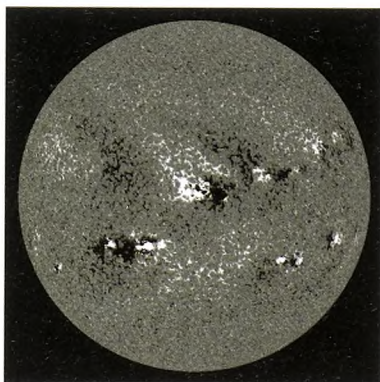
Figur 3. Det interplanetariske magnetfelt ("Interplanetary Magnetic Field"), forkortet IMF, ved henholdsvis lav [3] og høj [4] solaktivitet.

Solens magnetfelt består både af lokale, lukkede felter og af et stort åbent felt, der i gennemsnit er et dipolfelt; feltet breder sig ud i Solsystemet som et interplanetarisk magnetfelt (IMF, se figur 3) med spiralform på grund af Solens rotation (Parker-spiralen, se figur 4). Feltstyrken ved Jordens afstand har typisk en størrelse på 5 nT, men variationerne er store. I et lag ved overgangen mellem de to områder med modsat rettet felt induceres en strøm i solvindens ioner. Dette lag er ikke så pænt som på den hosstående figur, men bugter sig ofte op og ned, så Solens rotation får IMF til ofte at skifte retning ved Jorden, hvilket bevirker geomagnetiske forstyrrelser.



Figur 4. Parker-spiralen [5].

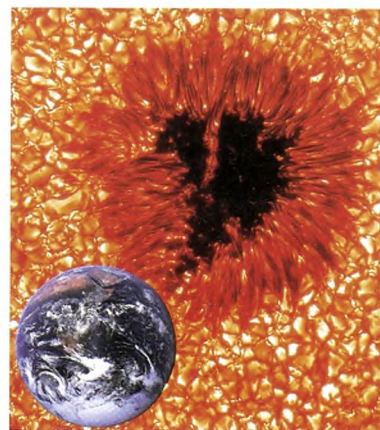
Det åbne magnetfelt hænger sammen med solvinden. På grund af Lorentz-kraften kan en ladet partikel ikke bevæge sig på tværs af et tilstrækkeligt stærkt magnetfelt, men udfører en cirkelbevægelse eller spiralbevægelse omkring en feltlinje. Et stærkt og lukket magnetfelt vil således kunne fastholde et plasma i en "magnetisk flaske". Hvis omvendt plasmaet dominerer, vil det kunne fastfryse magnetfeltet og føre det med sig. Et populær visualisering er at betragte en magnetisk feltlinje som en elastik, der kan trækkes med plasmaet. Ved Jorden "blæser" solvinden typisk med en hastighed på 400 km/sek. Tætheden er dog nu kun nogle få partikler pr. cm^3 . Ofte ses områder med stor lysstyrke i koronaen nær Solen, hvilket skyldes, at stærke, lukkede magnetfelter kan opsamle en stor mængde plasma. Hvor feltet er åbent, vil partiklerne kunne strømme ud med stor hastighed (700-800 km/s), og stoftætheden udtyndes.



Figur 5. Magnetogram. Hvid er positiv og sort negativ polaritet [1].

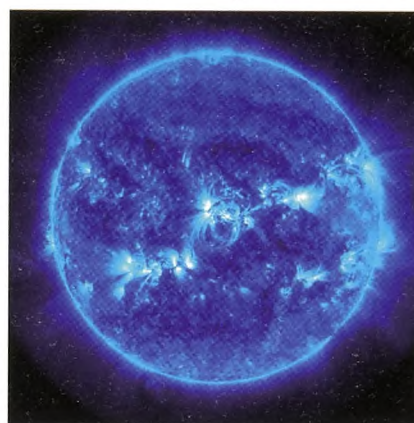
Et overblik over magnetfelterne på Solens overflade ses på et "salt og peber"-magnetogram (se figur 5), hvor "salt" er positiv polaritet (magnetisk nordpol) og sort "peber" er negativ. Vi vil bruge disse gloser for ikke at forveksle med geografiske stedsbetegnelser. Det meste af overfladen er dækket af svage, diffuse felter, men i flere områder er der kraftige dipolære koncentrationer. Det er de stærke, lukkede felter (0,2-0,4 T), hvor der dannes solpletter, da magnetfelterne hæmmer energitransport ved konvektion, sådan at temperaturen falder. Bemærk, at polariteten af dipolerne er den samme for

alle dipoler på henholdsvis den nordlige og sydlige halvkugle, men forskellig på de to halvkugler. Solpletterne består af en mørk umbra, omgivet af en lysere penumbra (se figur 6). Magnetfeltet er lodret i umbraen, men bøjer stærkt ved kanten og er næsten vandret i penumbraen. Omkring solpletterne ses ofte lyse områder i fotosfæren, som kaldes "fakler". Den kraftige magnetiske aktivitet bevirker en generel opvarmning af atmosfæren ovenover solpletterne, hvilket også fører til en kraftig stråling i UV lys. Generelt benævnes sådanne områder på Solen derfor "aktive områder".



Figur 6. Nærbillede af solplet med Jorden indsat som målestok. Fra det svenske solteleskop på La Palma [6].

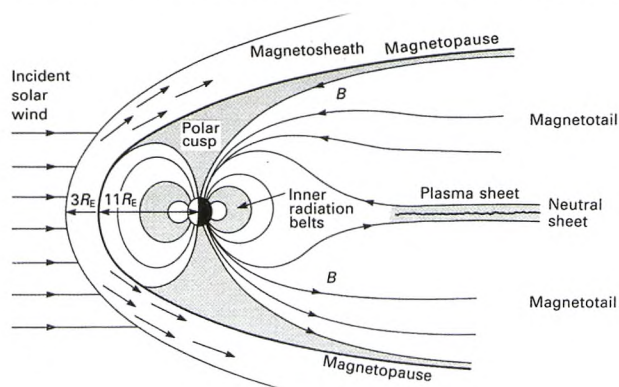
Overfladen er højst dynamisk, således at modsat rettede magnetfelter kan mødes og udligne hinanden, hvilket frigør den magnetiske energi (magnetisk "reconnection") i et udbrud (en "flare"), der medfører udsendelse af stråling i hele det elektromagnetiske spektrum og kraftig acceleration af ladede partikler, især protoner, der ofte vil kunne nå Jorden på få timer. Sammenbrud af magnetfeltet vil også kunne betyde, at en stor opsamling af stof i koronaen ikke mere kan fastholdes og bliver slynget ud i rummet sammen med sit fastfrosne magnetfelt (en koronal masseudkastning, CME). Da en CME bevæger sig meget hurtigere end den almindelige solvind, vil der danne sig en chokbølge i rummet, der kan nå Jorden på få døgn. Utallige små flares ("nanoflares") kan også være årsagen til den høje temperatur af koronaen. Varmen fra fotosfæren med sine kun 6000 K kan jo ikke gøre det.



Figur 7. Solen i ekstrem UV (17,1 nm). Kunstigt pålagt farve [1].

Satellitter, fx SOHO, har givet mulighed for at studere Solen i UV, bl.a. fra ioniserede jernatomer ved overgangen mellem kromosfæren og koronaen (se figur 7). Excitering sker ved hjælp af energirige elektroner fra de aktive områder, der vil følge de magnetiske feltlinjer, som derved bliver synlige som løkker, analogt til synliggørelsen af magnetfeltet omkring en stangmagnet ved hjælp af jernspåner. Også flares kan forårsage flotte løkker.

Jordens magnetfelt beskytter os mod solvinden, og vekselvirkningen danner en magnetisk "boble" omkring Jorden (se figur 8), hvor magnetfeltet virker som et "skjold" mod solvinden. En del ladede partikler fra solvinden siver dog ind og danner et strømlag analogt til IMF. Forstyrrelser af magnetfeltet, ikke mindst fra CME'er, kan bevirke magnetisk "reconnection" her og accelerere partikler, som følger magnetfeltlinjerne ned til Jorden og danner nordlys. Solvinden og magnetfeltet fortsætter langt ud i rummet hinsides planeterne og danner en magnetisk boble, "heliosfæren", i det interstellare rum, som rækker langt ud forbi planetsystemet.



Figur 8. Jordens magnetosfære [7].

Solens dynamo

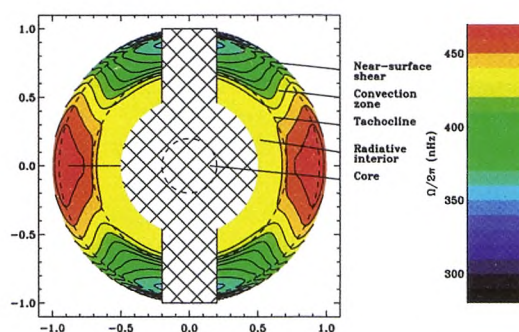
Solens magnetiske aktivitet vidner om en kompliceret kobling mellem plasmaets bevægelser og magnetfeltet såvel under som på og over overfladen, og i hele heliosfæren. Der eksisterer ikke i dag en gængs konsensusmodel, som ud fra basale fysiske principper giver en teoretisk forklaring på alle – eller blot de fleste observerede aspekter af Solens dynamo (men se fx [8], [9] og [10]).

Generelt kan man sige, at det er energien i plasmaets bevægelser, der fødes ind i magnetfeltet. Den kinetiske energi i Solens konvektion og rotation bindes op i magnetisk energi, der i sidste ende frigives som kinetisk energi af partikler i soludbrud og magnetisk flux, der føres ud i heliosfæren via solvinden. Koblingen mellem plasma og magnetfelt er tovejs. I Solens indre er plasmaet stærkest og magnetfeltet er bundet til rotationen og konvektionen. Ved overfladen styrer magnetfeltet plasmaet og frembringer solpletter, protuberanser og flotte løkker. Ude i heliosfæren fører plasmaet i form af solvinden igen magnetfeltet med sig.

En almindelig dynamo, som vi også kender den fra et kraftværk, eller en cykel eller bil, frembringer elektrisk energi ved hjælp af variationer i et magnetfelt.

I en astrofysisk dynamo bliver magnetfeltet forstærket og kan ændre de bevægelser, der har forstærket det. Astrofysiske dynamoer findes overalt i universet, lige fra planeter til stjerner, galakser og til skiver omkring sorte huller. Teorien for elektromagnetismen er gammel og velforstået, men det er detaljerne i Solens dynamo til gengæld ikke. Selvom en elektrisk strøm kan frembringe et magnetfelt, så kan plasmabevægelser ikke umiddelbart, da plasmaet gennemsnitligt er elektrisk neutralt. Hvis der derimod er et svagt magnetfelt i plasmaet i forvejen, så kan dette felt frembringe elektriske strømme i plasmaet ved hjælp af induktion (Faradays lov). Disse strømme kan så til gengæld forstærke magnetfeltet ved hjælp af energi fra de turbulente plasmabevægelser.

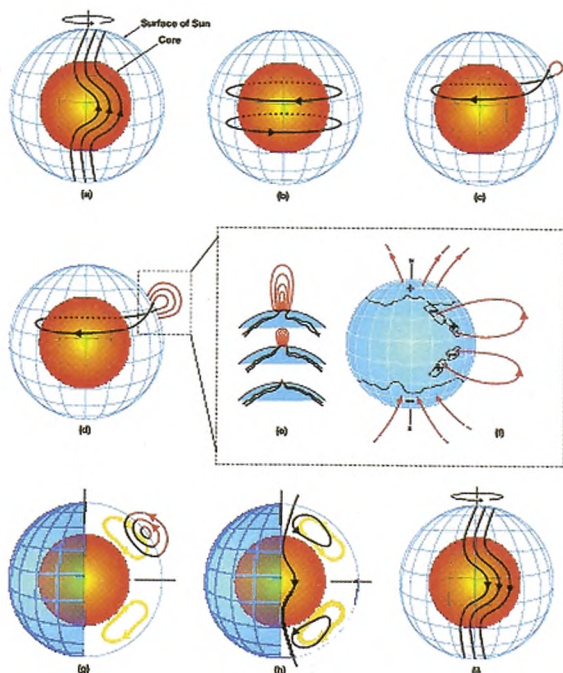
Solen roterer differentielt, sådan at ækvatorområdet roterer hurtigere end højere breddegrader. Dette har været kendt længe ud fra observation af solpletter. Helioseismologien har givet muligheder for at studere bevægelser i Solens indre, som har vist, at denne forskel eksisterer i hele konvektionszonen, mens den indre zone med strålingstransport roterer som ét legeme. Overgangen mellem de to zoner kaldes "tachocline" (se figur 9).



Figur 9. Solens indre rotationstider. Rød ved ækvator svarer til 25,2 døgn, og orange ved 30 graders bredde svarer til 26,6 døgn, hvilket er den samme som for strålingszonen [11].

Området nær tachocline er formentlig essentielt for Solens dynamo. Forestil dig et relativt svagt og primært nord-syd rettet felt (poloidalt felt). Da dette felt er bundet til et plasma, der roterer hurtigere ved ækvator, vil det blive snoet om Solen som om en gigantisk spole (toroidalt felt, figur 10). Sammen skaber rotationen og konvektionen et relativt stærkt magnetfelt (mange gange stærkere end fx Jordens). Her kan også det tidligere anvendte billede af magnetfeltlinjer som elastikker, der trækkes rundt, bruges.

Resultatet bliver et forholdsvis fragmenteret magnetfelt, et netværk af øst-vest rettede fluxrør, der har form som lange magnetiske pølser, fyldt med plasma. Da der er trykligevægt mellem plasmaet i de magnetiske fluxrør og plasmaet udenfor, og da magnetfeltet også udøver et tryk, bliver tætheden af plasmaet i rørene mindre end udenfor. Rørene bliver derfor lettere end omgivelserne og vil flyde opad og bryde gennem fotosfæren som en række dipoler, hvilket også forklarer hvorfor alle solpletter på den samme solhalvdel har samme magnetiske polaritet.



Figur 10. Udviklingen af Solens indre magnetfelt i løbet af en solpletperiode. Solens overflade er blå og strålingszonen orange [12].

Under opstigningen vil Corioliskraften dreje fluxrøret lidt, så solpletgrupperne får en tendens til at pege mod ækvator, idet den bageste polaritet vil være lidt nærmere polen end den forreste. Ud over de omtalte bevægelser i konvektionszonen finder der også en meridional (mod polerne) bevægelse i overfladen sted, med tilbagestrømning mod ækvator i dybet. Denne strømning kan medtage den magnetiske flux, og da den dipol, der har modsat polaritet af Solens pol ved starten af en solpletcyklus, er nærmest ved polerne, kan dette medvirke til et skift i polernes polaritet.

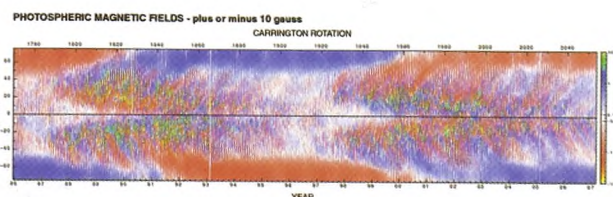
Den beskrevne dynamo vil være periodisk. Når den toroidale magnetiske aktivitet er "brændt ud", har vi så magnetfelterne ved polerne tilbage, som har den nye polaritet, der giver et nyt poloidalt felt, og en ny cyklus kan begynde.

I strålingszonen er plasmaet stabilt og flyder ikke opad. Magnetisk plasma kan så sige "gemme sig" lige under tachocline. Plasmabevægelser er i stand til at "skyde ned" fra konvektionszonen og hente "gemt" magnetfelt. Dette er en mulig forklaring på hvordan magnetfeltet forankres nær bunden af konvektionszonen og ikke forsvinder ud af Solen.

Den variable sol

Variationerne i Solens magnetfelt giver sig tydeligst til kende ved den kendte, 11-årige solpletcyklus, hvor antallet af solpletter stiger og aftager. Mængden af solpletter beskrives for det meste ved "relativtallet" R , se boks. De enkelte perioder er givet et nummer. Vi er i øjeblikket i gang med nr. 24 [14]. Pletterne dukker først op ved høje breddegrader (ca. $30^\circ - 40^\circ$), for i løbet af cyklen at bevæge sig ned mod ækvator. Magnetisk set er der tale om en 22-årig periode, da den magnetiske polaritet skifter cirka hvert 11. år. I begyndelsen

af perioden har den forreste plet i forhold til Solens rotation samme polaritet som polen på den pågældende halvkugle, men observationer viser, at polariteten af Solens nord- og sydpol skifter omkring solpletmaksimum. Dog ikke nødvendigvis samtidig (se figur 11). Det ses, at ved maksimum af cyklus 22 (starten af 1990) skifter nordpolen fra negativ til positiv polaritet. Skiftet ved sydpolen sker først i midten af 1991. Fra 40° nord kan man fra 1988-1989 se en skrå drift af positiv polaritet nordpå, som når 60° ved skiftet. Tilsvarende ved sydpolen. I henholdsvis starten af og i løbet af år 2000 sker så det omvendte skift ved maksimum af cyklus 23.



Figur 11. Målt magnetfelt på Solens overflade mellem breddegrad -75 til $+75$ fra 1986 til 2007. Blå er positiv polaritet og rød er negativ. Over 60° er der kun én polaritet, men under 40° er farven grumset på grund af dipolerne ved solpletterne [13].

Indikatorer for solmagnetisme:

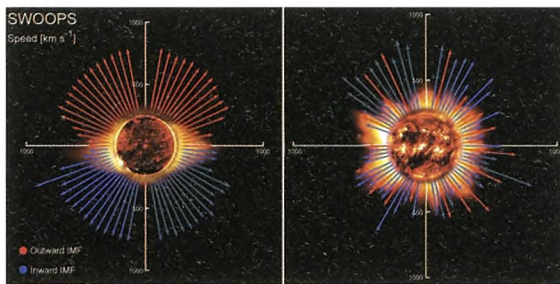
Relativtallet R er et mål for mængden af solpletter, og udregnes ved at gange antallet af magnetiske dipolgrupper med 10 og addere antallet af enkeltpletter [14]. Relativtallet er derfor en indikator for styrken af den lukkede magnetiske flux i fotosfæren.

aa-indekset er et mål for geomagnetiske forstyrrelser målt ved jordoverfladen fra to målestationer i henholdsvis England og Australien (antipodalt i forhold til Jordens magnetfelt). Da disse forstyrrelser, der har været systematisk målt siden 1868, stammer fra variationer af IMF ved Jorden, er aa-indekset således en indikator for Solens åbne magnetiske flux i Jordens baneplan.

GCR ("Galactic Cosmic Rays") kan komme til os fra alle retninger, og bliver derved en indikator for forholdene i hele heliosfæren (effekter fra Mælkevejens magnetfelt kan negligeres over de 10.000 år vi ser på her).

Da de tre indikatorer således er mål for forskellige sider af solmagnetismen, vil der kunne være forskelle mellem dem over korte tidsskalaer. Da de imidlertid alle siger noget generelt om Solens dynamo, er forskellene ikke store ved middeltal over længere perioder.

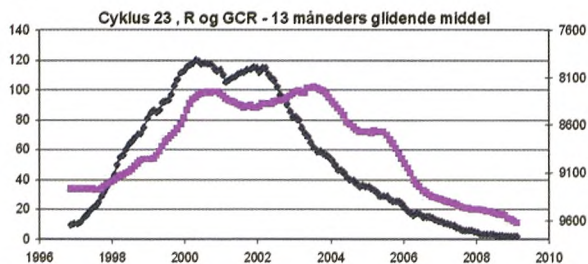
Det er hele IMF der skal skifte, og forholdene omkring solpletmaksimum er yderst komplicerede. Som nævnt har Solen differentiell rotation, således at "fodpunkterne" for IMF ikke bevæger sig lige hurtigt. Yderligere har solvinden jo forskellige hastigheder, så Parker-spiralen bevæger sig ikke lige hurtigt udad i alle retninger (se figur 12). CME fører også magnetisk flux ud og kan sikkert også bidrage til skiftet i IMF.



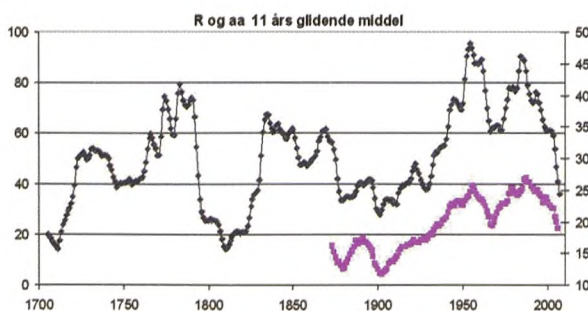
Figur 12. Målinger af retningen af IMF og solvindens hastighed ved henholdsvis minimal og maksimal solaktivitet fra Ulysses satellitten, der har bevæget sig i en bane næsten vinkelret på Solens ækvator i en afstand, der varierede fra 1,3 AE til 5,4 AE. Pilenes længde er et mål for solvindens hastighed, og rød er områder med positiv magnetisk polaritet. Et foto af Solen i UV er indsat og viser tydeligt de aktive områder ved høj aktivitet [15].

Et mål for heliosfærens tilstand (styrken af IMF, antal CME osv.) er geomagnetiske forstyrrelser givet ved et *aa*-indeks og fluxen af kosmisk stråling fra verdensrummet, GCR ("Galactic Cosmic Rays"), mest protoner og heliumkerner med en energi i GeV området, som danner en kaskade af partikler ved at smadre atomkerner i den øvre atmosfære. Mange af disse er neutroner, som ikke vekselvirker meget med atmosfærens atomer. De kan derfor detekteres ved jordoverfladen. En aktiv sol forhindrer mange GCR i at nå frem til Jorden.

I figur 13 sammenlignes relativtallet for cyklus nr. 23 med GCR-fluxen. Bemærk forskydningen mellem *R* og GCR, hvilket er almindeligt ved overgange fra ulige til lige cyklus-numre.



Figur 13. Relativtal (blå, venstre skala) og GCR flux (lilla, højre skala), tællinger pr time med neutron monitor. Bemærk at GCR skalaen er vendt om, da høj solaktivitet giver lav GCR flux. Grafen viser 13-måneders glidende middeltal. Tiden angiver årenes starttidspunkt, og punkterne er angivet i midtpunkter af tidsintervallerne. Tegnet med data fra henholdsvis [16] og [17].

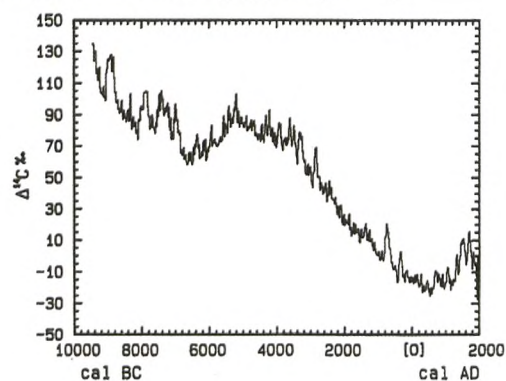


Figur 14. Relativtal (blå, venstre skala) siden 1700 og *aa*-indeks (lilla, højre skala) siden 1868. 11-års glidende middeltal for årlige middeltal. Årstallet er midten af tidsintervallerne. Grafer tegnet med data fra [16] og [18].

Langtidsvariationer i antallet af solpletter og heliosfærens tilstand ses lettest ved at udglatte relativtallet over 11-årige perioder, hvilket tydeligt viser den 80-100 årige Gleissberg periode (se figur 14). Det ses, at der i langtidsendenserne er god overensstemmelse mellem *R* og *aa*. Indekset *aa* kan bruges til vurderinger af størrelsen af den åbne magnetiske flux, som har en størrelsesorden på omkring $5 \cdot 10^{14}$ Wb, og den viste stigning i 1900-tallet svarer til en fordobling. Den lukkede flux varierer stærkt mellem maksimum og minimum, og er ved maksimum op til 10 gange større end den åbne.

Proxy-indikatorer: Rekonstruktion af fortidens solaktivitet

Hvis vi vil følge variationer i solaktivitet længere tilbage end observationerne af solpletter, må vi bruge proxy indikatorer, dvs. effekter af datidens solaktivitet, som kan måles i dag. En af de bedste i den forbindelse er ^{14}C , som dannes af den kosmiske stråling. Denne radioaktive isotop med en halveringstid på 5730 år, optages i alle levende planter i form af CO_2 , og er allerede velstuderet af arkæologer, som er stærkt generet af den varierende produktion, som de må korrigere for. For os er netop disse korrektioner interessante, da de afhænger både af Jordens magnetfelt, som giver den største variation, og af heliosfærens tilstand. Datidens relative forekomst af ^{14}C , $\Delta^{14}\text{C}$, findes ved at udtage prøver fra træringe. Her skal man tage hensyn til isotopfraktionering, idet optaget af kulstof i biologisk materiale er masseafhængig (se figur 15).



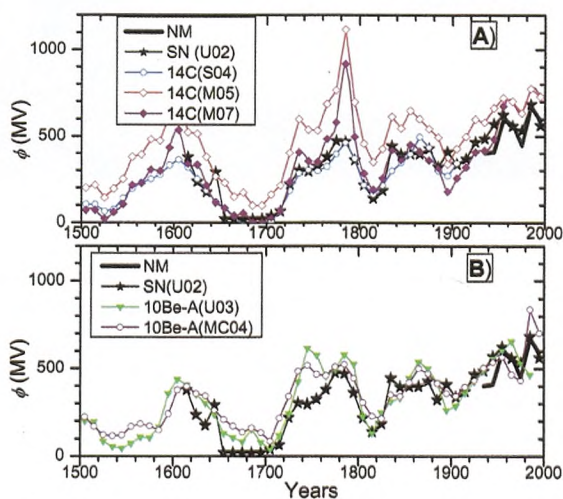
Figur 15. ^{14}C indholdet i træ på de angivne tidspunkter fra de sidste knap 12.000 år, der er fundet ud fra målinger af ^{14}C indhold i træringe [19]: De store ændringer over årtusinder skyldes variationer af Jordens magnetfelt, mens de mange små toppe og dale skyldes solaktiviteten. Bemærk at høj $\Delta^{14}\text{C}$ er forbundet med en lav solaktivitet.

Det er lang fra trivielt at vurdere tilstanden i heliosfæren ud fra ^{14}C data. Det kræver kendskab til kulstofkredsløbet i biosfæren og oceanerne. Desuden er sammenligning med nutidige målinger af ^{14}C produktion forstyrret af atomprøvesprængningerne og tilførsel af ^{14}C fattigt kulstof fra afbrænding af fossilt brændsel. For at beskrive forholdene i heliosfæren må man også kende mekanismerne til modulation af den kosmiske stråling, som igen afhænger af hvilke partikler der er tale om og deres energispektrum. Ved minimal solaktivitet er magnetfeltet ret simpelt og partiklerne kan

spiralere ind langs feltlinjerne (se figur 4). Da partiklerne er positivt ladede, vil de yderligere, på grund af magnetfeltets spiralform, opleve en drift ind mod polerne og ud langs strømlaget, når Solens nordpol har positiv polaritet, og omvendt når polariteten er negativ. Da adgangen langs det urolige strømlag er mere besværlig end over polerne, vil GCR fluxen vokse langsommere op i sidstnævnte situation, hvilket netop er tilfældet ved ulige-lige overgange (se figur 13).

Reduktionen af GCR ved høj solaktivitet fremkommer primært ved en udadrettet diffusion, der skyldes at den voldsomme aktivitet på Solen skaber små uregelmæssigheder i IMF, som breder sig ud gennem heliosfæren. Protoner med mere end nogle få GeV bliver stort set ikke moduleret, da den store gyroradius ikke gør sådanne partikler så påvirkelige af små lokale fluktuationer i magnetfeltet.

For at beskrive tilstanden i heliosfæren bruges oftest modulationspotentialet, Φ , som er et mål for en GCR partikels energitab per ladning undervejs ind gennem heliosfæren. I en "simpel" teoretisk model kan den beregnes ud fra magnetfeltets styrke og "krøllethed", solvindens hastighed samt heliosfærens størrelse. Sidstnævnte afhænger også af solvinden og magnetfeltet, som afgør, hvor meget heliosfæren kan presses ud i det interstellare område. Selv om heliosfæren ofte er mere kompliceret end den simple model, bruges Φ generelt som indikator for modulationen af GCR i heliosfæren. Eksperimentelt findes Φ ud fra målinger af GCR på Jorden og modeller for GCR udenfor heliosfæren. Sidstnævnte kan selvfølgelig være noget usikre, men forholdene derude kan i det mindste regnes konstante indenfor de tidsrum vi taler om her.

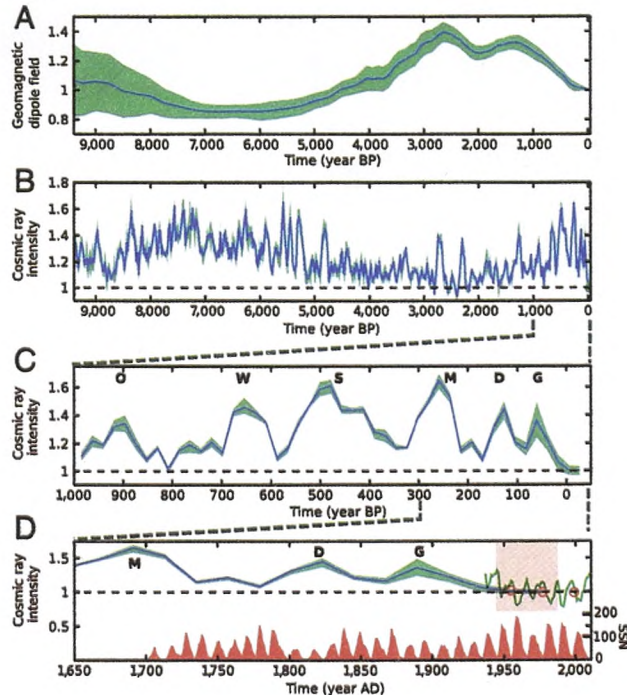


Figur 16. Modulationspotentialet for de sidste 500 år. Bemærk at høje værdier af Φ svarer til høj solaktivitet (få GCR). Øverste figur er for ^{14}C og nederste for ^{10}Be data. Stjerne angiver beregninger ud fra relativtallet og sort streg ud fra neutron monitor data [20].

En anden isotop der er almindeligt anvendt er ^{10}Be , som har en meget lang halveringstid ($1,37 \cdot 10^6$ år). Denne isotop undersøges mest ved aflejringer i iskerner. Ulempen ved den er, at stoffet ikke forekommer i atmosfæren, da det er et metal. Når den dannes, vil den

typisk binde sig til aerosoler og på et tidspunkt falde ned, ofte i forbindelse med nedbør. I iskerner måler man det absolutte indhold i antal isotoper med ^{10}Be -kerner per gram is, hvilket gør koncentrationen afhængig af mængden af nedbør, og dermed af ændringer i klimaet. Flere har gjort forsøg på rekonstruktion af solaktiviteten gennem de sidste 500 år, hvor man delvist har kunnet sammenligne med relativtallet, se fx [20] og [21]. Figur 16 viser eksempler. Selv om overensstemmelsen indbyrdes og med antal solpletter stort set er rimelig, er der også enkelte meget store afvigelser, hvilket kan ses som et tegn på vanskelighederne ved metoderne.

Muligheden for at se på solaktivitetens udvikling er af ret ny dato. Startskuddet blev givet af John Eddy, der publicerede en artikel i Science i 1976 under titlen "The Maunder Minimum", hvor han som en af de første bruger ^{14}C til at vurdere solaktiviteten [22]. Det kraftige minimum i sidste halvdel af 1600-tallet opkaldte han efter den engelske astronom E. Walter Maunder, der i 1894 udgav en omfattende artikel om denne mangel på solpletter, delvist på baggrund af arbejde af den tyske astronom Gustav Spörer, der så fik et minimum omkring år 1500 opkaldt efter sig. Før Maunder-minimum fra 1650 til lidt efter 1700 var man begyndt at observere solpletter med kikkert, så disse observationer bekræfter mangelen på pletter i denne lange periode. Hvor kraftigt Spörer-minimum var, er derimod overladt til proxy-data.



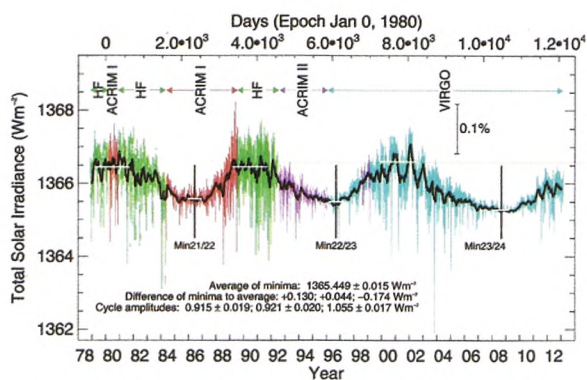
Figur 17. PSA analyse for de sidste 9000 år af GCR fluxen, som er angivet i relative enheder. Bemærk at høje værdier på disse grafer svarer til lav solaktivitet. De normalt anvendte navne på minimaene er angivet, fx Maunder (M), Dalton (D), Gleissberg (G). Ved de 3 første figurer er tiden angivet "before present", som i denne forbindelse er 1950 [23].

Rekonstruktioner over årtusinder må naturligvis, jf. ovennævnte, være behæftede med stor usikkerhed. En lovende metode er PSA analysen ("Primary Signal Analysis"), som er baseret på såvel ^{14}C i træringe som

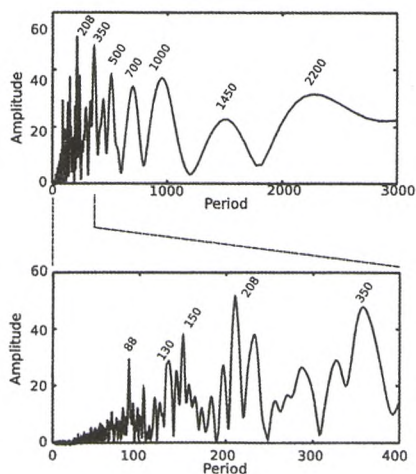
^{10}Be fra både Grønland og Antarktis. Signaler, der er fælles for alle datasæt, antages at hidrøre fra virkningen af Jordens magnetfelt og heliosfæren. En model for udviklingen af Jordens dipolfelt giver så Φ . Et eksempel på en sådan rekonstruktion findes på figur 17.

Solens fremtidige aktivitet?

Hvad er årsagen til de store variationer i solaktiviteten og hvad bringer fremtiden? Det handler ikke blot om at se flotte nordlys eller observere spændende solpletter. I rumalderen er den praktiske betydning stor. Kraftige soludbrud kan sætte vigtige satellitter ud af spillet og være direkte livsfarlige for astronauter. Ligeledes kan solaktiviteten have indflydelse på Jordens klima, både via UV strålingen og en indvirkning på skydannelse fra GCR [24]. Det er via satellitmålinger også påvist, at intensiteten af den totale solstråling varierer med solaktiviteten og er størst ved solpletmaksimum. Dog er variationen lille, og gennemsnittet over flere cykler har været konstant, men målingerne med satellitter har kun fundet sted i få årtier i en periode med høj aktivitet. Imidlertid har det langvarige minimum mellem cyklus nr. 23 og 24, samt den lille størrelse af cyklus nr. 24, tilsyneladende givet et fald (se figur 18). Det er ikke stort, men det kan godt tænkes, at en langvarig mangel på aktivitet, som ved Maunder-minimum, kan have bevirket en kraftig reduktion af solstrålingen.

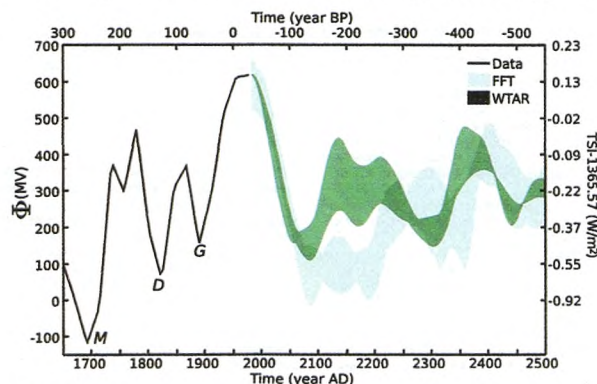


Figur 18. "Solarkonstantens" udvikling over de sidste 34 år, målt ud fra data fra forskellige satellitter. Figur af Claus Fröhlich hentet fra [25].

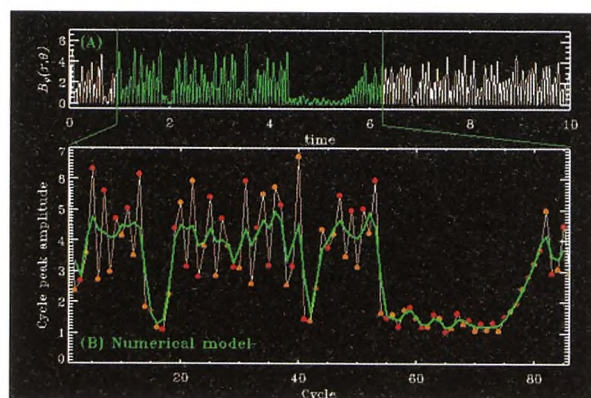


Figur 19. Fourieranalyse af solaktivitetens variationer ud fra ^{14}C og ^{10}Be [26].

Forståelsen af dynamoen er som nævnt ikke god nok til en egentlig beregning af fremtidens magnetfelt. Hvis dynamoen er rent kaotisk er der jo ikke noget at gøre, men meget tyder på en del periodicitet, så nogle forskere har vovet pelsen. Man kan gå rent empirisk frem. Nogle tusinde år er jo forsvindende i forhold til Solens alder, så hvis man laver en Fourier-analyse af variationerne fundet ved hjælp af ^{14}C og ^{10}Be data (se figur 19) og antager, at perioderne vil være tilsvarende fremover, giver det en 500-års forudsigelse (se figur 20).



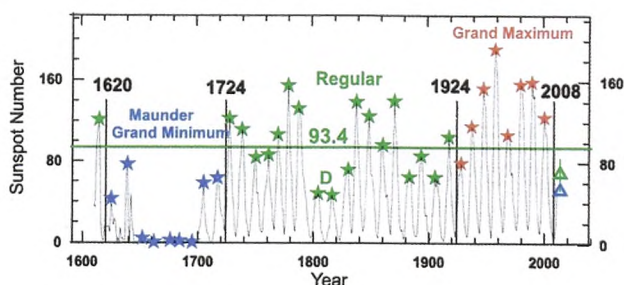
Figur 20. Modulationspotential over 800 år, hvoraf de sidste 500 er fremtid. Den negative værdi af Φ i Maunder-minimum (M) er selvfølgelig ikke fysisk set fornuftig, men må ses som konsekvens af usikkerheden i den lange databehandlingsvej fra $\Delta^{14}\text{C}$ til Φ [26].



Figur 21. Amplituden af et magnetfelt ved en simulation af en periodisk-kaotisk variation [27].

Mere fysisk kan man prøve at se på Solens dynamo, som jo ud af et poloidalt magnetfelt frembringer et toroidalt, som forstærkes i konvektionszonen, stiger op og frembringer solpletter, driver mod polerne og frembringer et nyt poloidalt felt osv. En dynamomodel bør altså vise et periodisk magnetfelt, og styrken af det nye poloidale felt må afhænge af det toroidale felt, som afhang af det tidligere poloidale felt. Modellen vil altså have en iterativ natur. I kaosteori har man undersøgt sådanne systemer, som viser, at perioder med regelmæssige svingninger pludseligt kan afløses af perioder med kaotisk adfærd, hvor fx amplituderne bliver kraftigt dæmpede. Et eksempel på beregninger af et magnetfelt ud fra et forsimplet sæt differential-ligninger, som beskriver den tidligere omtalte kobling mellem plasma og magnetfelt, hvor der netop er taget hensyn til differentiell rotation og meridional transport af magnetisk flux, ses på figur 21.

Ser man på de sidste 400 års solaktivitet (se figur 22) ligner det jo en del. Man bruger at dele op i perioder med henholdsvis normal (regular), meget lav (grand minima) og meget stor (grand maxima) aktivitet. Sidstnævnte reproduceres dog ikke så godt af modellen beskrevet ovenfor. Antallet af solpletter afhænger af styrken af det toroidale felt, som i henhold til ovennævnte overvejelser bør afhænge af styrken af det forudgående poloidale, dvs. styrken af IMF ved solpletminimum. Da *aa*-indekset er et mål for styrken af IMF, bør der altså være en korrelation mellem *aa* ved minimum og størrelsen af *R* ved det efterfølgende maximum. Analyse af denne sammenhæng fører til en formodning om, at vi nu har bevæget os fra et Grand Maximum til en Regular periode, og med en max *R* for cyklus nr. 24 på kun omkring 60 (se figur 22). Der bliver altså solpletter at observere i den nærmeste fremtid, men ikke noget der ligner sidste del af 1900-tallet. Forudsigelsen af en fremtid "på det jævne" er også i god overensstemmelse med figur 20.



Figur 22. 400 års relativ solaktivitet. Trekanterne til sidst er et forsøg på at forudsige cyklus 24 [28].

Måske er der variationer med meget længere perioder end den 2200-2300 års Hallstatt-cyklus, som kan være interessante ved studier over geologiske tidsskalaer, men de kræver data over en meget lang periode, hvilket kan være svært at finde her på Jorden. En nærliggende mulighed er studiet af sol lignende stjerner på forskellige udviklingstrin, hvilket mange også er gået i gang med, så måske kan vi få ny viden om vor magnetiske sol på den måde.

Litteratur

- [1] SDAC, <http://umbra.nascom.nasa.gov/sdac.html>.
- [2] Luc Viatour, <http://www.lucnix.be>.
- [3] Kenneth J.H. Phillips, Guide to the Sun. Cambridge University Press 1992.
- [4] Asgeir Brekke, Physics of the Upper Polar Atmosphere. Wiley 1997.
- [5] Ulysses NASA, <http://ulysses.jpl.nasa.gov>.
- [6] Institutet för Solfysik, <http://www.solarphysics.kva.se>.
- [7] Malcolm S. Longair, High Energy Astrophysics, vol 1. Cambridge University Press 1997.
- [8] Paul Charbonneau (2010), Dynamo Models of the Solar Cycle, *Living Rev. Solar Phys.* 7 2010, 3: <http://www.livingreviews.org/lrsp-2010-3>.
- [9] Guenther Ruediger (2008), Scholarpedia, 3(1): 3444 doi:10.4249/scholarpedia.3444.
- [10] Axel Brandenburg (2007), Scholarpedia, 2(3):2309 doi:10.4249/scholarpedia.2309.
- [11] Rachel Howe (2009), Solar Interior Rotation and its Variation, <http://solarphysics.livingreviews.org>.
- [12] High Altitude Observatory, <http://www2.hao.ucar.edu>.
- [13] Mt. Wilson Observatory, <http://obs.astro.ucla.edu>.
- [14] Sven Ove Thimm (2013), Solen i 2012, KVANT nr. 2, maj 2013.
- [15] Ulysses ESA, <http://sci.esa.int/ulysses>.
- [16] SIDC, <http://sidc.oma.be>.
- [17] Moscow Neutron Monitor, <http://cr0.izmiran.rssi.ru/mosc/main.htm>.
- [18] Solar-Terrestrial Physics Division, NOAA, <http://www.ngdc.noaa.gov/stp>.
- [19] Stuiver og Reimer (1993), Extended ^{14}C data base and revised calib 3.0 ^{14}C age calibration program. *Radiocarbon*, Vol 35, No 1 1993.
- [20] Usoskin (2013), A History of Solar Activity over Millenia, <http://solarphysics.livingreviews.org>.
- [21] McCracken, Beer, Steinhilber og Abreu (2013), The Heliosphere in Time, *Space Sci. Rev.* 2013 176:59-71.
- [22] John A. Eddy (1976), The Maunder Minimum, *Science* 18, June 1976, Vol 192, N0 4245.
- [23] Steinhilber et al (2012), 9400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings, <http://www.pnas.org/content/109/16/5967>.
- [24] Jens Olaf Pepke Pedersen (2011), Solaktivitet og klimaændringer, KVANT nr. 4, december 2011.
- [25] PMOD-WRC (World Radiation Center), <http://pmodwrc.ch>.
- [26] Steinhilber, Beer (2013), Prediction of solar activity for the next 500 years, *Journal of Geophysical Research: Space Physics* vol 118 p. 1-7, 2013.
- [27] Paul Charbonneau, Flux transport dynamos, <http://scholarpedia.org>.
- [28] De Jager, Duhau (2012), Sudden transitions and grand variations in the solar dynamo, past and future (*Journ. Space Weather Space Clim.* 2, 2012, A07).



Søren Bertil Fabricius Dorch er bibliotekschef ved Syddansk Universitet. Han er astrofysiker med ph.d.-grad fra Københavns Universitet og har speciale i Solens Dynamo og stjerners magnetisme.



Sven Ove Thimm er cand.scient fra Århus Universitet og underviser i fysik og astronomi på Hjørring Gymnasium. Han er specielt interesseret i Solen og sol-jord fysik og er leder af Solsektionen i Astronomisk Selskab.

Roterende sorte huller

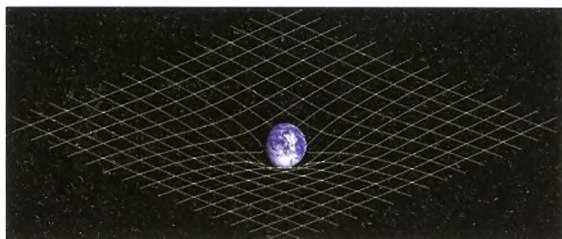
Af Kristian Jerslev, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet

Sorte huller har normalt været anset som statiske, mens alle andre legemer i Universet roterer. Dette stemmer imidlertid ikke overens med den nylige opdagelse af et roterende sort hul i midten af galaksen NGC 1365. Hvilken effekt har rotationen af et sort hul på legemer i dets nærhed, og hvordan kan astronomer i det hele taget måle, at sorte huller roterer?

Hvad er et sort hul?

Siden Einstein i 1915 udgav sin almene relativitetsteori, har mange forskere arbejdet med nogle af de mere eksotiske dele af denne. I 1960'erne var en af disse eksotiske dele kendt som sorte huller, hvis navn stammer fra fysikeren John Wheeler (der første gang benyttede udtrykket). Siden da har sorte huller været genstand for utallige forsknings- og observationsprojekter samt været benyttet i utallige science-fictionhistorier. Men hvordan opfatter den moderne astronomi et sort hul?

Sorte huller er objekter, hvis tyngdekraft er så stor, at intet kan slippe bort fra dem. Dette inkluderer også fotoner på trods af, at fotoner ikke har nogen hvilemasse. I relativitetsteorien betragtes tyngdekraft nemlig ikke som en fysisk kraft, men derimod som en krumning af hele rumtiden. På figur 1 kan man se, hvordan Jorden krummer rumtiden, der symboliseres ved et todimensionalt koordinatsystem, omkring sig. Da fotoner bevæger sig i rumtiden på samme måde som alt andet stof i Universet, vil de også mærke denne krumning og dermed påvirkes af tyngdekraften fra andre legemer.



Figur 1. Jorden krummer rumtiden i Jordens nærhed. Man kan tænke på rumtiden som en trampolin og Jorden som en tung kugle, der ved at ligge på trampolinen vil bøje den. Kilde: bruger Johnstone på Wikipedia.org.

Massen af et sort hul er koncentreret i et punkt, der opnår næsten uendelig høj tæthed. Dette punkt kaldes en singularitet og ligger i midten af det sorte hul. Ved selve singulariteten bliver tyngdekraften uendelig stor (ikke bare meget høj), hvormed hele rumtiden ødelægges. Lægger man afstand til et sort hul vil dets tyngdekrafts indflydelse efterhånden blive mindre og mindre. Ved en bestemt afstand fra singulariteten bliver tyngdekraftens indflydelse så lav, at undvigelseshastigheden (den fart et legeme skal opnå for at slippe helt bort fra det sorte hul) er lige så stor som lysets fart i vakuum (300.000 km/s, hvor undvigelseshastigheden fra Jordens overflade til sammenligning er omkring 11 km/s). Denne afstand definerer det sorte hulls begivenhedshorisont, som man kan tænke på som

værende overfladen på det sorte hul – vel at mærke en overflade, som man kan bevæge sig igennem. Falder et legeme gennem begivenhedshorisonten slipper det aldrig nogensinde væk igen. På denne måde kan man godt forestille sig, at legemet er faldet ned i et hul, der ikke er til at komme op af igen. I rummet vil sorte huller fremstå sorte, fordi fotoner heller ikke kan slippe væk.

Et sort hul er fuldstændigt beskrevet ved tre forskellige parametre: dets masse, M , samlede elektriske ladning, Q , samt dets totale impulsmoment J . Sorte huller, der hverken roterer eller har nogen elektrisk ladning kaldes for Schwarzschild-sorte huller opkaldt efter den fysiker, der første gang beskrev disse matematisk. Sorte huller med elektrisk ladning og/eller rotation navngives efter et system, der kan ses i tabel 1.

	Ikke roterende ($J = 0$)	Roterende ($J \neq 0$)
Ikke elektrisk ladet ($Q = 0$)	Schwarzschild [1]	Kerr [2]
Elektrisk ladet ($Q \neq 0$)	Reissner-Nordström [3]	Kerr-Newman [4]

Tabel 1. Typebestemmelse af sorte huller følger et fast mønster, der bygger på det enkelte sorte hulls målte parametre.

Roterende sorte huller uden elektrisk ladning kaldes Kerr-sorte huller, og det er denne type af sorte huller, vi i det følgende vil kigge nærmere på. Da sorte huller dannes ved kollapset af roterende kerner i gamle stjerner, forventes det, at kernens impulsmoment følger med over i det sorte hul. Derfor er studiet af roterende sorte huller en naturlig fortsættelse af studiet af Schwarzschild-sorte huller.

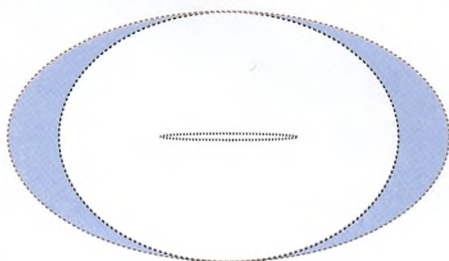
Observationer har indtil videre vist, at legemer i Universet er elektrisk neutrale, så den samlede elektriske ladning for sorte huller forventes at være eksakt lig nul. Massen af et sort hul kan måles ved at observere de stjerner, der er i kredsløb om det sorte hul. Det var på denne måde, at man tidligere har målt massen af blandt andet det supermassive sorte hul i Mælkevejens centrum. Det helt store spørgsmål har indtil for ganske nyligt været, hvor tilbøjelige sorte huller er til at rotere, og hvor stort impulsmoment de i så fald har.

Fra punkt til ring

Schwarzschild-sorte huller er prototypen af forestillingen om, hvordan et sort hul ser ud: en sort kugleoverflade, hvis radius svarer til begivenhedshorisontens afstand fra centret, hvor der befinder sig en punktformig singularitet, der indeholder hele massen af det sorte hul. Denne type af sorte huller er dermed sfærisk symmetriske. Tilsættes rotation til et sort hul ændres dette

billede markant, idet symmetrien ændres fra sfærisk symmetrisk til rotationssymmetrisk omkring det sorte huls rotationsakse.

I første omgang vil formen ændres fra at være kugleformet til at tage form som en fladtrykt kugle. Denne form kaldes for et oblat sfæroid og er næsten den samme form, som Jorden har (hvis man ikke tager højde for lokale forhold). Denne ændring på formen af det sorte hul skyldes, at begivenhedshorisonten deles op i to horisonter: en ny begivenhedshorisont og en såkaldt ergoflade. Den nye begivenhedshorisont fungerer fuldstændig som begivenhedshorisonten på et Schwarzschild-sort hul: falder man igennem, kommer man aldrig ud igen. Ergofladen er til gengæld helt unik for roterende sorte huller og befinder sig længere væk fra midten af det sorte hul end begivenhedshorisonten. Området mellem ergofladen og begivenhedshorisonten kaldes for ergosfæren og er endnu en unik egenskab ved Kerr-sort huler. Befinder man sig i ergosfæren, er det ikke muligt at stå stille i forhold til det roterende sorte hul – her bliver man tvunget til at rotere med rundt, men har man en motor med sig kan man sagtens slippe væk igen. Det er først, hvis man kommer indenfor begivenhedshorisonten, at man ikke længere kan slippe bort.



Figur 2. Skematisk oversigt over de horisonter, der er til stede for et Kerr-sort hul. Den yderste stiplede røde linje svarer til ergofladen, mens den indre sorte stiplede linje er det roterende sorte huls begivenhedshorisont. Inderst finder vi ringsingulariteten, der på figuren er vist som en prikket cirkel.

Inderst i et roterende sort hul befinder sig ikke længere en punktsingularitet men derimod en ring-singularitet – en ring af punkter med uendelig høj tæthed. På figur 2 ses en skematisk oversigt over de forskellige horisonter i et roterende sort hul. Bemærk, at horisonterne ikke er kugleformede, men netop er fladtrykte langs den lodrette akse, der på figuren er sat som rotationsaksen. En tilsvarende figur over et Schwarzschild-sort hul ville blot indeholde en cirkel, der viser begivenhedshorisonten (og ergofladen, som er sammenfaldende med begivenhedshorisonten) samt et punkt i midten, der viser singulariteten.

Et sorte huls omgivelser

Med forskellen på et Schwarzschild- og et Kerr-sort hul på plads tager vi et skridt baglæns og kigger nærmere på, hvordan omgivelserne til et sort hul ser ud. På figur 3 ses en kunstners indtryk af, hvordan omgivelserne omkring et Schwarzschild-sort hul kunne se ud. På billedet ses tydeligt det sorte hul, der er omgivet af en såkaldt tilvækstskive. En tilvækstskive er en flad skive af materiale, der er i kredsløb om det sorte hul. Sådan

en skive består oftest af støv og gas, der i skiven gnider mod hinanden og dermed mister energi. Som tiden går, vil støv og gas dermed bevæge sig tættere og tættere på begivenhedshorisonten for til sidst at falde helt ind i det sorte hul. Gnidningen i tilvækstskiven danner varme, der varmer støvet og gassen op til meget høje temperaturer – så høje, at materialet tæt på begivenhedshorisonten begynder at udsende røntgenstråling. Denne røntgenstråling kan vores rumteleskoper ved Jorden opfange, og på den måde kan vi studere sorte huller.



Figur 3. En kunstners indtryk af, hvordan omgivelserne omkring et sort hul ser ud. Skiven af støv og gas omkring det sorte hul kaldes tilvækstskiven, mens strømmene af relativistiske partikler, der på billedet er blå, kaldes en jet. Kilde: NASA/JPL-Caltech.

Regner man ved hjælp af relativitetsteorien på kredsløb om sorte huller, opdager man noget, der adskiller sig markant fra Newtons fysik. Det er nemlig ikke muligt at kredse om et sort hul i cirkelbaner med en vilkårlig radius. Faktisk viser det sig, at der opstår en grænse tæt på det sorte hul, indenfor hvilken stabile cirkelbaner ikke længere er mulige. Denne grænse definerer dermed også grænsen for tilvækstskiven om et sort hul. Det viser sig yderligere, at grænsen for stabile cirkelbaner er forskellig alt afhængig af, om det sorte hul roterer eller ej (faktisk afhænger den også af hvilken vej det sorte hul roterer i forhold til tilvækstskiven). Her er altså en indikator på, hvorvidt et sort hul roterer eller ej. Hvis afstanden fra den indre kant på tilvækstskiven til midten af det sorte hul kan måles, kan det afgøres, hvorvidt det sorte hul roterer eller ej.

Der findes i øjeblikket tre forskellige metoder til at afgøre, om et sort hul roterer eller ej:

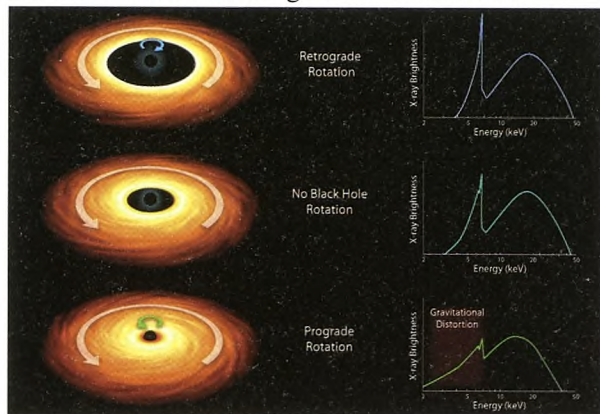
1. Tilpasning af modeller til kontinuumsdelen af røntgenspektret [5]
2. Tilpasning af modeller til en emissionslinje fra jern [6]
3. Modellering af de kvasiperiodiske oscillationer (KPO), der observeres i tilvækstskiverne [7].

I skrivende stund er det metode 2, der har den største succes på baggrund af observationer, så derfor vil vi i det følgende kigge nærmere på netop denne metode og et af dens mere opsigtsvækkende resultater.

Måling af rotation

I jernemissionsmetoden benyttes det, at jern har en emissionslinje, der ligger ved en energi på cirka 7 keV. Der er bred enighed om, at denne emissionslinje bliver dannet tæt på den indre kant af tilvækstskiven, hvor fotoner opnår en energi, der er høj nok til at blive absorberet af et jernatom. Dette medfører, at jernatomet

smider en af sine egne elektroner fra K-skallen ud, hvormed en elektron fra L-skallen falder ind i K-skallen og tager den udsendte elektrons plads. I denne proces udsendes en foton med en energi på omkring 7 keV. Hvis disse fotoner bliver udsendt i retning af vores teleskoper, vil vi se strålingen som en del af den såkaldte refleksionsstråling fra tilvækstskiven.



Figur 4. Skematisk oversigt over tilvækstskivens udseende samt røntgenspektret udsendt derfra for forskellige konfigurationer af sorte huller. Kilde: NASA/JPL-Caltech.

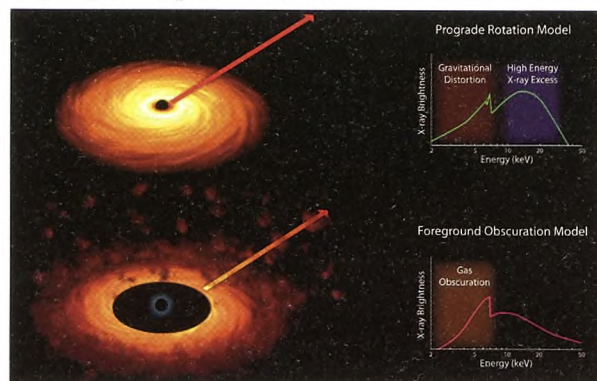
Emissionslinjer observeres ofte som meget smalle, men netop K-linjen fra jernatomet observeres som værende meget bred. Dette skyldes, at fotoner udsendt nær den indre kant af tilvækstskiven påvirkes kraftigt af ikke-Newtonske effekter på grund af tilstedeværelsen af det sorte hul. Placeringen af den inderste stabile cirkelbane vil påvirke, i hvor stor grad disse ikke-Newtonske effekter ændrer på emissionslinjen. Så ved at observere K-linjen og tilpasse teoretiske modeller til observationerne kan man bestemme radius på den inderste stabile cirkelbane og igennem denne finde ud af, om det sorte hul roterer eller ej. På figur 4 kan man se, hvorledes rotationen af det sorte hul påvirker radius på det centrale hul i tilvækstskiven, samt hvorledes rotationen påvirker røntgenspektret og K-linjen fra jern. Roterer det sorte hul modsat tilvækstskiven (retrograd rotation), vil det centrale hul blive meget stort, og jernlinjen bliver meget smal og får en høj intensitet. Er det modsatte tilfældet, hvor det sorte hul og tilvækstskiven roterer samme vej (prograd rotation), vil jernlinjens intensitet blive meget lavere, og linjens profil bliver bredere. Midt imellem disse to tilfælde kan man på figur 4 se, hvorledes røntgenspektret ville se ud, såfremt det centrale sorte hul ikke roterede.

Til at observere røntgenspektret udsendt fra tilvækstskiven benyttes rumteleskoper. Her er det især ESAs XMM-Newton (der måler røntgenfotoner med energier mellem 2 og 10 keV) og NASAs NuSTAR (der måler røntgenfotoner med energier mellem 10 og 60 keV), der benyttes. Netop disse to satellitter blev i de første måneder af 2013 benyttet til at finde den første observationelle evidens på, at sorte huller rent faktisk roterer.

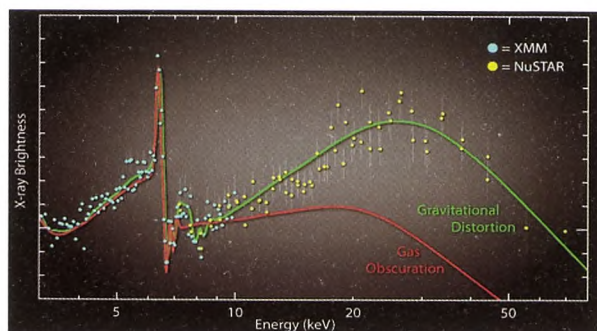
Støv i vejen

Som med alle astronomiske observationer er en af de største årsager til fejlfortolkninger tilstedeværelsen af

støv mellem objektet, der observeres, og teleskopet. Hvis et Schwarzschild-sort hul befinder sig bag en masse støv, vil røntgenspektret ligne spektret fra et Kerr-sort hul. Dette kan ses på figur 5, hvor den prograde rotationsmodeller og et Schwarzschild-sort huls røntgenspektre sammenlignes. De meget stærke gravitationelle effekter fra det roterende sorte hul i prograd rotationsmodellen har den største effekt på de lave energier i røntgenspektret. Desværre er det også her, at støv vil have den største effekt, hvorfor det kan være vanskeligt at skelne de to situationer fra hinanden. Her er det dog heldigt, at de to modeller giver hver sin forudsigelse for de høje energier i spektret. Tilstedeværelsen af støv vil resultere i, at de høje energier vil have en meget flad energifordeling, mens tilstedeværelsen af et roterende sort hul vil resultere i et overskud af højenergiske fotoner. Det er derfor meget vigtigt, at man observerer både de lav- og højenergetiske fotoner fra røntgenspektret på samme tid.



Figur 5. Skematisk sammenligning af to meget forskellige astrofysiske modeller for den observerede røntgenstråling. Øverst ses et roterende sort hul samt røntgenspektret udsendt fra tilvækstskiven. Nederst ses en model, hvor det sorte hul ikke roterer, men spektret til gengæld påvirkes af støv og gas, der ligger mellem tilvækstskiven og teleskopet. Kilde: NASA/JPL-Caltech.



Figur 6. Målinger af røntgenspektret fra NGC 1365 taget med ESAs XMM-Newton og NASAs NuSTAR røntgensatellitter. En klar overensstemmelse med en model med et roterende sort hul ses. Kilde: NASA/JPL-Caltech/ESA/CfA/INAF og ESA.

I juli 2012 blev XMM-Newton og NuSTAR begge rettet mod centret af galaksen NGC 1365. Her observerede de røntgenstråling i omkring 36 timer. Der var altså tale om samtidige målinger af både den lavenergiske og den højenergiske del af røntgenspektret. På figur 6 ses resultaterne af disse observationer [8]. Her fremgår en tydelig forskel på de to modeller, der senere er blevet

benyttet i dataanalysen. Den røde linje er en model, hvor det centrale sorte hul ikke roterer, men hvor støv absorberer en del af røntgenstrålingen på dens vej til os, mens den grønne linje er en model, hvor det centrale sorte hul roterer. Det fremgår tydeligt på figuren, at observationerne matcher en model med et meget hurtigt roterende sort hul fremfor en model, hvor støv og gas absorberer fotonerne. De teoretiske modeller for de to forskellige astrofysiske situationer er begge kun tilpasset til den lavenergetiske ende af røntgenspektret (målingerne fra XMM-Newton), men på trods af dette

passer observationerne fra NuSTAR meget overbevisende med modellen for det roterende sorte hul. Denne overensstemmelse mellem observationer og model blev benyttet til at konkludere, at det centrale sorte hul i NGC 1365 er et Kerr-sort hul, der roterer næsten lige så hurtigt, som det tillades af Einsteins relativitetsteori.

Som tidligere nævnt er der andre metoder til at bestemme rotationsparametren for sorte huller. I tabel 2 opsummeres resultater, som er fremkommet ved brug af alle tre metoder.

Objekt	Rotationsparameter (GJ/Mc^3)	KF	Fe K linje	KPO	Kommentar
Cyg X-1	0,92-0,95	✓			
GRO J1655-40	0,94	✓		✓	Begge metoder viser tegn på meget hurtig rotation.
GRS 1915+105	0,55-0,98	✓	✓	✓	Forskellige metoder giver afvigende resultater.
NGC 1365	> 0,84		✓		
XTE J1550-564	-0,11-0,71	✓	✓	✓	Forskellige metoder stemmer ikke overens.
H1743-322	-0,3-0,82	✓		✓	Massen kendes ikke, og dette medfører stor usikkerhed på rotationsparametren.

Tabel 2. Oversigt over rotationsparametre bestemt for forskellige sorte huller, og hvorledes disse parametre er blevet bestemt. Rotationsparameteren er begrænset til værdier mellem -1 og 1 og vil have et positivt fortegn for prograd rotation, mens den vil have et negativt fortegn for retrograd rotation. KF er en forkortelse for metode 1, Fe K linje for metode 2, mens KPO er metode 3.

Fremtidsudsigter

Sorte huller er nogle af de mest ekstreme objekter, der findes i Universet. Deres enorme tyngdekraft skaber et perfekt laboratorium for studiet af fysik under påvirkning af meget stærk tyngdekraft. Siden opdagelsen af det første sorte hul i 1970'erne har disse objekter fascineret både forskere, forfattere og enhver, der kender til deres eksistens. Indtil videre har Einsteins relativitetsteori forudsagt sorte hullers opførsel meget præcist, og ingen observationer har endnu kunnet modsige relativitetsteoriens forudsigelser. Her er roterende sorte huller et meget aktuelt eksempel på, hvorledes studiet af sorte huller kan bruges som en test af relativitetsteoriens begrænsninger.

Sorte huller er dog ikke et lukket forskningsområde, da der fortsat er mange uløste problemstillinger. Disse inkluderer den teoretisk forudsagte Hawkingstråling [9], der endnu ikke er blevet bekræftet observationelt, samt hvorvidt der ved grænsen til begivenhedshorisonten vil befinde sig en såkaldt 'firewall' [10], der vil riste ethvert legeme, der falder gennem begivenhedshorisonten. Under alle omstændigheder er der rigeligt med løse ender at tage fat på.

Litteratur

- [1] Schwarzschild, K. (1916), Über das Gravitationsfeld eines Massenpunktes nach der Einsteinschen Theorie. *Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss. Berlin (Math. Phys.)*, bind **7**, side 189-196.
- [2] Kerr, R. P. (1963), Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics. *Phys. Rev. Lett.*, bind **11**, side 237-238.

- [3] Nordström, G. (1918), On the Energy of the Gravitational Field in Einstein's Theory. *Proc. Kon. Ned. Akad. Wet.*, bind **20**, side 1238-1245.
- [4] Newman, E. T. et. al. (1965), Metric of a Rotating, Charged Mass. *J. Math. Phys.*, bind **6**, side 918-919.
- [5] Gou, L. et. al. (2011), The extreme spin of the black hole in Cygnus X-1. *ApJ*, bind **742**, side 85-101.
- [6] Blum, J. L. et. al. (2009), Measuring the spin of GRS 1915+105 with relativistic disk reflection. *ApJ*, bind **706**, side 60-66.
- [7] Mukhopadhyay, B. (2012), Observational evidences for spinning black holes: A proof of general relativity for spacetime around rotating black holes. *Int. J. of Mod. Phys. D*, bind **21**.
- [8] Risaliti, G. et. al. (2013), A rapidly spinning supermassive black hole at the centre of NGC 1365. *Nature*, bind **494**, side 449-451.
- [9] Hawking, S. W. (1974), Black hole explosions?. *Nature*, bind **248**, side 30-31.
- [10] Almheiri, A. et. al. (2013), Black holes: complementarity or firewalls? *JHEP*, bind **62**.



Kristian Jerslev er kandidatstuderende i astronomi på Aarhus Universitet. Artiklen er skrevet på baggrund af hans bachelorprojekt om observationel detektion af roterende sorte huller, som han også forventer at arbejde med i sit speciale.

Generalforsamling i Astronomisk Selskab

Indkaldelse til Generalforsamling i Astronomisk Selskab.

Tid: Lørdag den 26. april 2014.

Sted: Institut for Fysik for Astronomi (IFA), Ny Munkegade 120, 8000 Århus C.

Program:

Kl. 11.00: Foredrag (på engelsk) ved Associate Professor, Max Stritzinger (IFA): "Core-collapse supernovae: Discovery and follow-up observations".

Kl. 12.00: Frokost i kantinen. NB: Pris 75,- kr. (excl. drikkevarer). Tilmelding påkrævet til kasserer Steen Traberg-Borup på email: steen@traberg-borup.dk – senest onsdag den 23. april 2014.

Kl. 13.00: Generalforsamling.

Dagsorden for generalforsamlingen

1. Valg af dirigent og referent.
2. Godkendelse af referatet fra generalforsamlingen 6. april 2013. (Kan ses på astronomisk.dk).
3. Formandens beretning om Astronomisk Selskabs virksomhed i det forløbne år.
4. Beretning fra sektioner og udvalg.
5. Kassererens beretning for det reviderede

regnskab. Regnskabet fremlægges ved generalforsamlingen.

6. Godkendelse af bestyrelsens budgetforslag for indeværende år og fastsættelse af medlemskontingent for det kommende år. Budgettet fremlægges ved generalforsamlingen.
7. Indkomne forslag. (Der er ikke indkommet forslag fra medlemmerne).
8. Valg af to bestyrelsesmedlemmer for tre år. Johan Fynbo og Søren K. Lynggaard er på valg. Begge er villige til genvalg. Bestyrelsen foreslår genvalg af Johan Fynbo og Søren K. Lynggaard.
9. Valg af en første og en anden suppleant til bestyrelsen for ét år. Bestyrelsen foreslår genvalg af Ole Berg Nielsen og nyvalg af Mikkel Lund.
10. Valg af formand for ét år. Bestyrelsen foreslår Johan Fynbo.
11. Valg af to revisorer samt en første og en anden revisorsuppleant for ét år. Bestyrelsen foreslår genvalg af Steen Lærke og Bent Schou som revisorer og valg af Birgit Fejerskov som første revisorsuppleant.
12. Eventuelt.

Glemmer du, så husker jeg...

En gennemgang af Astronomisk Selskabs bogholderi viser at der stadig er medlemmer der ikke har betalt kontingent for 2014. Er du en af de formastelige opfordres du hermed til at betale kontingentet senest torsdag d. 20. marts. Kontingentsatserne for 2014, der i øvrigt er uforandrede i forhold til sidste år, er:

- Almindeligt medlemskab: 350 kr.
- Ungdomsmedlemskab (18-26 år): 150 kr.
- Børn og unge under 18 år kan gratis blive medlem af Kosmosklubben, kosmosklubben.dk.

Det relevante kontingentbeløb bedes indbetalt på Astronomisk Selskabs girokonto:

Danske Bank reg. 1551, konto 8001081, senest torsdag d. 20. marts

Betaler du dit kontingent via netbank så **husk** at oplyse Medlemsnummer, Navn(e) og Adresse(r) i kommentarfeltet, ellers kan kassereren ikke se hvem der er betalt for.

Betaler du dit kontingent på posthus eller i pengeinstituttet skal du oplyse foreningens adresse som er:

**Astronomisk Selskab
c/o Steen Traberg-Borup
Nørrebrogade 7A, 3tv
DK-2200 København N**

Venlig hilsen

Steen Traberg-Borup
AS-kasserer
steen@traberg-borup.dk