

KVANT

April
2010

1

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 21. årgang

- GULT LASERLYS
- ESCHERS TAPETER
- DEN GODE STEMNING – HØRELSENS FYSIK
- RØMER, CASSINI OG LYSETS TØVEN
- MAGNETISKE NANOPARTIKLER
- BORDTENNIS – BREDDEOPGAVE
- ÅRSMØDER I DFS OG KIF
- KIF-PRISEN
- KVANT-NYHEDER

Løssalgspris: 45 kr

KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

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

Udgives af

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

Redaktion

Michael Cramer Andersen (ansv. red.),
Christianshavns Gymnasium
Katrine Facius,
Rysensteen Gymnasium
Torsten Freltoft,
Sophion Bioscience A/S
Mogens Esrom Larsen,
Institut for Matematiske Fag, KU
Sven Munk (nyhedsredaktør)
John Rosendal Nielsen (nyhedsredaktør),
Aurehøj Gymnasium
Lone Djernis Olsen (KIF)
Jens Olaf Pepke Pedersen,
DTU Space
Finn Berg Rasmussen,
Ørsted Lab, Københavns Universitet
Svend Erik Rugh

Abonnementspris : 175 kr/år.

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

Annoncepriser

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

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

Oplag: 2200. Tryk: HCB Tryk ApS, Brønderslev. ISSN 0905-8893



Produktionsplan

Nr. 2-10 udkommer ca. 15. maj

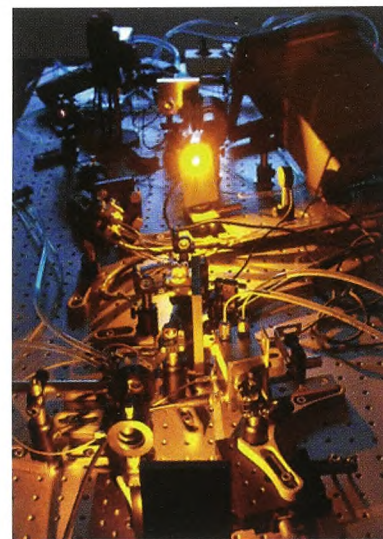
Nr. 3-10 udkommer ca. 15. september

Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Ole Rømer, Gian Cassini og lysets tøven <i>Kurt Møller Pedersen</i>	3
Dansk Fysisk Selskab – Årsmøde den 22.-23. juni	8
Foreningsnyt – foredrag i foråret	9
KIF-Årsmøde 2010 og KIF-prisen	10
Gult laserlys <i>Morten Thorhauge og Jesper Mortensen</i>	11
Eschers tapeter <i>Mogens Esrom Larsen</i>	14
Stjernehimlen <i>Michael Cramer Andersen</i>	18
Den gode stemning. II. Hørelsens fysik og tonal musikalitet <i>Jens Ulrik Lefman</i>	20
Magnetiske nanopartikler <i>Steen Mørup, Cathrine Frandsen og Mikkel Fougt Hansen</i>	26
Bordtennis – breddeopgave 37 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	30
KVANT-nyheder <i>Sven Munk og John Rosendal Nielsen</i>	32
Aktuelle bøger <i>Michael Cramer Andersen</i>	34
Jupiters store røde plet gløder <i>John Rosendal Nielsen</i>	Bagsiden

Billedet på forsiden viser gult laserlys i en laboratorieopstilling. I år er det 50-året for den første laser. I artiklen inde i bladet beskrives de forskellige typer gule lasere og eksempler på deres brug.



Prisen for KVANT er steget med 10 kr. i forhold til de sidste par år, grundet forhøjede portoudgifter.

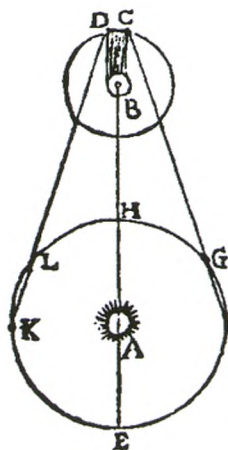
KVANT udsendes gratis til alle landets gymnasier, seminarier og HTX-kurser med velvillig økonomisk støtte fra fysikinstitutterne på Danmarks Tekniske Universitet samt Københavns, Syddansk, Aalborg og Aarhus Universiteter.

Ole Rømer, Gian Cassini og lysets tøven

Af Kurt Møller Pedersen, Institut for Videnskabsstudier, Aarhus Universitet

Vi er i Paris på det nye, velindrettede observatorium i august 1676. Gennem flere uger har der været en heftig diskussion mellem tre af observatoriets ledende astronomer, direktøren Gian Domenico Cassini og hans to medarbejdere Jean Picard og Ole Rømer. I mange år har de alle omhyggeligt og systematisk studeret Jupiters måner og har nu opdaget, at Jupiters inderste måne opfører sig på en måde, som de slet ikke kan forklare. Det drejer sig om den tid, det tager for månen at foretage et omløb omkring Jupiter. Det ene ord tager det andet, idéer og forklaringer trylles frem, pludselig siger en af dem, at det hele kan forklares ved at antage, at lyset har en endelig hastighed: *Mora luminis!* – “Lysets tøven”.

Problemet havde ikke kun akademisk interesse. Det var et vigtigt problem for kongen og staten, for hvis astronomerne kunne løse det, havde man en nøjagtig metode til bestemmelse af Jordens størrelse og til udarbejdelse af nøjagtige geografiske kort, der bandt lande, kontinenter og have sammen til gavn for handel og kolonisering. Alene disse resultater af videnskabelig forskning ville retfærdiggøre Solkongens store investeringer i et nyt observatorium, kostbare instrumenter, mange videnskabelige ekspeditioner og en stor skare af vellønnede forskere, samlet i *Académie Royale des Sciences* i Paris.



Figur 1. Ole Rømers tegning af Sol-Jord-Jupiter systemet, fra Rømers originalafhandling om lysets tøven i *Journal des Sçavans*, december 1676. Afhandlingen findes i dansk oversættelse i [2].

Astronomernes diskussioner og jupitermånernes betydning for navigation og Jordens opmåling kan let illustreres ved hjælp af en tegning, som Rømer lavede. A er Solen, omkring hvilken Jorden bevæger sig i sin bane [F]GHLKE. Jupiter er i B, omkring hvilken dens måne bevæger sig i sin bane CD. Solen kaster en skygge BCD bag Jupiter. Når Jorden i sin bane bevæger sig fra E mod G og H, kan man i en kikkert se, hvis vejret ellers er til det, at månen pludseligt forsvinder ved C. Dette fænomen kaldte astronomerne for en *immersion*. Godt to timer senere er månen kommet til D, hvor den træder ud af skyggen. Dette fænomen kaldte man for en *emersion*, men det kan man ikke observere fra Jorden,

da fænomenet set fra Jorden finder sted bag ved Jupiter. Fænomenet kan man derimod se, når Jorden i sin bane bevæger sig fra L mod K og E. I sin kikkert ser man, at månen pludseligt viser sig, men man kan nu ikke se, at månen nogle timer forinden var trådt ind i Jupiters skygge ved C, fordi Jupiter skjuler fænomenet.

Disse to fænomener kan man bruge til at bestemme længdeforskelle mellem selv fjerntliggende steder på Jorden. Det vidste allerede Galilei, da han som den første iagttog fænomenerne i sin selvkonstruerede kikkert i 1610, men metoden var blevet forfinet af Cassini. Man iagttager fænomenet fra de to steder, som man vil bestemme længdeforskellen mellem, samtidig med at man med sine ure bestemmer den lokale tid. Tidsforskellen er da længdeforskellen. Man havde prøvet metoden ved at synkronisere ure ved hjælp af måneformørkelser, men den var usikker, da man ikke med god nøjagtighed kan afgøre, hvornår formørkelsen indtræffer. Man havde prøvet at gøre metoden mere nøjagtig ved at iagttage formørkelsens passage over udvalgte kratere eller bjerge på månen, men det var heller ikke nøjagtigt nok.

Tidspunkterne for jupitermånernes *immersioner* og *emersioner* kan bestemmes langt mere nøjagtigt. Derfor bestemte *Académie Royale des Sciences* sig for i begyndelsen af 1670'erne at sende ekspeditioner ud til mange egne af Jorden for der at iagttage *immersioner* og *emersioner*. Den første af disse gik til Uraniborg, hvor Tycho's observatorium havde ligget, fordi de franske astronomer ønskede at bestemme længdeforskellen mellem dette observatorium og observatoriet i Paris, således at man kunne sammenligne Tycho's meget nøjagtige observationer med nye observationer foretaget på observatoriet i Paris. Lederen af ekspeditionen til Uraniborg var Picard. Han opholdt sig i Danmark fra august 1671 til april 1672, hvor han observerede Jupiters måner samtidigt med, at Cassini gjorde det samme i Paris.

Man fandt, at længdeforskellen mellem Uraniborg og observatoriet i Paris var 42 minutter 10 sekunder, hvor den moderne værdi er 41 minutter 26,8 sekunder. Det gode resultat var så meget desto mere bemærkelsesværdigt, som det var tilvejebragt på grundlag af kun 5 korresponderende observationer, der blev

foretaget samtidigt på Uraniborg og på observatoriet i Paris. Det var hvad skydækket tillod i de otte måneder, Picard opholdt sig i Danmark. En vigtig forudsætning for det gode resultat var, at Cassini inden Picards afrejse fra Paris havde forsynet ham med tabeller over, hvornår der var mulighed for at iagttage *immersioner* og *emersioner*. Metoden er kun brugbar, hvis man omtrent ved, hvornår fænomenerne indtræffer.

Resultatet fra Picards ekspedition gav Cassini mod på at inddrage observatorier i hele verden i projektet. Derfor arbejdede han i årene efter ekspeditionen på at gøre beregningerne af *immersioner* og *emersioner* så nøjagtige som muligt ved at observere tidspunkterne for disse fænomener, og han blev her hjulpet af Picard og Rømer, der var fulgt med Picard til Paris, hvor han blev ansat på observatoriet og desuden blev medlem af Académie Royale des Sciences. Det var således et vigtigt, internationalt projekt, de tre astronomiforskere ved et af verdens førende observatorier entusiastisk havde engageret sig i.

Observationerne drillede dem! Man kunne beregne jupitermånens omløbstid som tiden mellem på hinanden følgende *immersioner*. Man kunne også beregne omløbstiden som tiden mellem på hinanden følgende *emersioner*. Omløbstiden blev bestemt som en middelværdi af de enkelte omløbstider. Man konstaterede imidlertid, at der var en systematisk forskel på omløbstiderne bestemt ud fra *immersioner* og ud fra *emersioner*. En sammenstilling af de foregående fem års observationer gav følgende resultater:

Omløbstider:				
IMMERSIONER				
Periode	dage	timer	min.	sek.
Okt. 1671 - feb. 1672	1	18	28	17
Nov. 1672 - mar. 1673	1	18	28	12
Maj 1676 - jun. 1676	1	18	28	21
Middelomløbstid	1	18	28	17

Omløbstider:				
EMERSIONER				
Periode	dage	timer	min.	sek.
Mar. 1671 - maj 1671	1	18	28	44
Mar. 1672 - jun. 1672	1	18	28	37
Apr. 1673 - aug. 1673	1	18	28	47
Jul. 1675 - okt. 1675	1	18	28	50
Middelomløbstid	1	18	28	45

I august 1676 var man således netop blevet bekræftet i, at *immersionsomløbstiderne* for perioden maj 1676-juni 1676 igen var kortere end *emersionsomløbstiderne*. Hvorfor finder *immersionerne* sted med kortere intervaller end *emersionerne*? Hvorfor afhænger jupitermånens omløbstid af, om Jorden bevæger sig mod eller væk fra Jupiter? Der var tale om en systematisk og markant forskel, omkring et halvt minut, på de to omløbstider.

Det var det problem, Cassini, Picard og Rømer diskuterede så intenst i sommeren 1676. Hvis man har

hang til dramatik, kan man sige, at statens og skibsfartens sikkerhed stod på spil, da nøjagtige geografiske positioner på kortene var af stor betydning for handel og navigation og ikke mindst for bestemmelse af landes størrelse og grænser. Også den rent videnskabelige forståelse af metodens effektivitet spillede naturligvis en betydelig rolle for astronomerne på verdens bedst indrettede observatorium.

Under diskussionen har en af dem foreslået, at fænomenet kunne forklares ved at antage, at lyset "tøver", at lyset udbreder sig med en endelig fart. Hvem der først ytrede denne antagelse, ved vi ikke, men videnskabshistorikere har nævnt både Cassini og Rømer. Fornylig dukkede et manuskript op, der kaster lys over sagen. Det er skrevet af Cassini den 22. august 1676 og er her vedføjet med en dansk oversættelse.

Det fremgår heraf helt klart, at Cassini skrev, at lyset tøver. Manuskriptet har karakter af at være et officielt notat, renskrevet og omhyggeligt formuleret, sikkert med henblik på at blive præsenteret for Akademiets medlemmer, hvad det måske også blev: Da Akademiets sekretær mange år senere i 1707 redegør for omstændighederne, siger han netop, at notatet af 22. august 1676 "blev offentliggjort", hvormed han vel mener, at det blev oplæst for Akademiets medlemmer. Jeg skal senere argumentere for, at det kunne være Rømer, der oplæste notatet i Akademiet.

Der er her tale om en epokegørende teori. René Descartes' teorier var udbredte og anerkendte i Frankrig, og han hævdede, at lyset udbreder sig med en uendelig stor fart. Hvis man i datidens Frankrig ønskede at opponere mod udbredte cartesianske dogmer, måtte man have overbevisende og slagkraftige argumenter. Det havde teamet bag Cassini. I manuskriptet står der nemlig, at teorien om lysets tøven kan efterprøves. Hvis den er rigtig, vil formørkelsen den 16. november finde sted 10 minutter senere end beregnet. Man skal så blot vente og håbe på, at det ikke er overskyet. Det skulle vise sig, at man ikke kunne observere Jupiters måner den 16. november. Heldigvis havde Cassini også beregnet et *emersionstidspunkt* for den 9. november, som det viste sig muligt at efterprøve.

Cassini brugte en gennemsnitlig omløbstid på $1^d 18^h 28^m 36^s$, dvs. et gennemsnit af omløb for både *immersioner* og *emersioner*. Man havde observeret en *emersion* den 7. august kl. $9^h 49^m 40^s$. Jupitermånen foretager 53 omløb frem til den 9. november, og Cassini kunne beregne, at *emersionen* ville finde sted den dag kl. $5^h 27^m$ – andre kilder har $5^h 24^m$. Nu havde teamet fundet, ved at studere de sidste fem års *emersioner*, at omløbstiden var $1^d 18^h 28^m 45^s$, dvs. ca. 10 sekunder langsommere end den gennemsnitlige omløbstid, hvilket på 53 omløb beløber sig til lidt under 10 minutter. Den 9. november observerede Rømer en *emersion* kl. $5^h 35^m 45^s$, Picard observerede den kl. $5^h 37^m 49^s$, dvs. ca. 10 minutter senere. Hermed fik man en dramatisk bekræftelse på, at forudsigelsen var rigtig, og at lyset tøver. På trods af det dramatiske forløb kunne Cassini dog ikke tilslutte sig, at man kunne konkludere, at lyset tøver.

Det var derfor ikke Cassini, men Rømer, der den 21. november 1676 meddelte medlemmer af Akademiet, at lyset tøver. I Akademiets protokol skrev sekretæren følgende:

Hr. Rømer læste en afhandling for Selskabet, hvor han viste, at lysets bevægelse ikke er instantan, hvilket han påviste med ujævnhederne af den første jupitermånes *immersioner* og *emersioner*. Han vil tale med de herrer Cassini og Picard om at indsætte denne afhandling i det førstkommande tidsskrift.

I "dette førstkommande tidsskrift" – Journal des Sçavans – offentliggjorde Rømer den 7. december 1676 sin teori om lysets tøven og gav dermed en forklaring på den inderste jupitermånes ujævne bevægelse: "Demonstration touchant le mouvement de la lumiere trouvé par M. Römer de l'Académie Royale des Sciences.". Der er imidlertid en enkelt detalje i Rømers artikel i Journal des Sçavans, som her trænger sig på. I artiklen står, at den inderste månes *emersion* fandt sted den 9. november "10 minutter senere, end man ville have forventet ved at udlede den fra disse [*emersioner*], som var observeret i august måned [...], hvilket hr. Römer havde forudsagt i Akademiet fra begyndelsen af september." Det var således Rømer, der meddelte Akademiets medlemmer, at hvis *emersionen* er forsinket, måtte det skyldes, at lyset tøver. Det fundne manuskript indeholder sikkert det, som blev forelagt Akademiet, og det blev forelagt af Rømer!

Cassini argumenterede livet igennem mod teorien om lysets tøven. I de følgende mange møder i Akademiet fremkom Cassini med indsigelser. Senere i 1693 skrev han:

Hr. Rømer forklarede meget skarpsindigt en af disse ujævnheder, som han gennem nogle år havde iagttaget ved Jupiters første måne ved antagelsen om lysets successive bevægelse [...] men han undersøgte ikke, om denne hypotese passede på de andre måner, som burde udvise den samme variation i tid.

Senere i 1707 skrev Akademiets sekretær Fontenelle i Akademiets officielle *Histoire*:

Observationer af Jupiters måner foretaget på Akademiet fra 1670 til 1675 førte til en opdagelse af en hidtil ukendt ujævnhed i deres bevægelser [...]. Hr. Cassini og hr. Roëmer, der da var blevet medlem af Akademiet, undersøgte denne anomali og fandt, at den afhang af Jupiters afstand fra Jorden [...]. De to astronomer fandt hurtigt på en antagelse om årsagen til denne

ujævnhed. De kom på den tanke, at lysets bevægelse ikke var øjeblikkelig, som filosoffer tidligere havde ment, men at det tog tid for den at udbredes [...]. Hr. Cassini foreslog denne ide i et notat, der blev offentliggjort i 1674 [Skal være 1676] for at gøre astronomer opmærksomme på denne anden ujævnhed, som han havde iagttaget ved Jupiters måner. For at vinde deres tillid forudsagde han, at denne ujævnhed ville forårsage en forsinkelse på 10 minutter i forhold til beregningerne af en *emersion* af den første måne den følgende 16. november.

Men hr. Cassini var ikke overbevist i ret lang tid om, at lysets successive udbredelse var skyld i denne anden ujævnhed, medens hr. Roëmer omvendt holdt fast ved denne hypotese og hævdede den med en sådan styrke og skarpsindighed, at den blev hans egen, og en lang række fremragende filosoffer [videnskabsmænd] forbandt den med ham.

Fontenelle fortsatte:

Det ser således ud til, at man, om end måske med beklagelse, må give afkald på den sindrige og medrivende hypotese om lysets successive udbredelse, i det mindste på det enestående og sikre bevis, som man troede at have, thi et manglende bevis gør ikke en ting umulig. Det er sandt, at hvis lyset gennemløber 66 millioner mil uden dertil at bruge den mindste tid, som vi kan opfatte, så er der grund til at tro, at det udbredes på et øjeblik. Hvad tjener det til, at vi falder i en så stor fejltagelse? Hvis Jupiter kun havde haft én måne, og hvis dens ekscentricitet med hensyn til Solen havde været mindre, hvilket kunne være muligt, så ville vi have været overbevist om, at lyset gennemløb Jordens årlige bane på 14 minutter.

Cassini var imod teorien om lysets tøven, og han blev således støttet af kollegerne i Akademiet. Cassinis vigtigste argument var, at ujævnheder i de andre jupitermånens bevægelser ikke kunne forklares med lysets tøven¹. Det er derfor Fontenelle skriver, at hvis Jupiter kun havde haft en enkelt måne, ville vi være forledet til at tro på ideen. Lysets tøven blev dog i samtiden støttet af mange andre, bl.a. af Christiaan Huygens og Isaac Newton. Den engelske astronom Edmund Halley var en stærk kritiker af Cassinis opfattelse og støttede Rømer. De opfattede alle teorien som Rømers, der jo også var den første til at publicere teorien. Med

¹Rømer skriver selv i sin afhandling: "Men for at fjerne enhver grund til at tvivle på, at denne ulighed er forårsaget af lysets tøven, viser han [Rømer], at den ikke kan opstå af nogen excentricitet eller nogen anden årsag af den slags, som man almindeligvis fremfører for at forklare Månens og de andre planeters uregelmæssigheder." Se [2], s. 56. Sagen uddybes i breve til Huygens.

James Bradleys teori for fiksstjernernes aberrationer i 1729 blev lysets tøven almindeligt accepteret, se [3] eller [4]. Fiksstjerneaberration er en tilsyneladende flytning af retningen til fiksstjernerne, der skyldes Jordens endelige hastighed omkring Solen og lysets endelige hastighed.

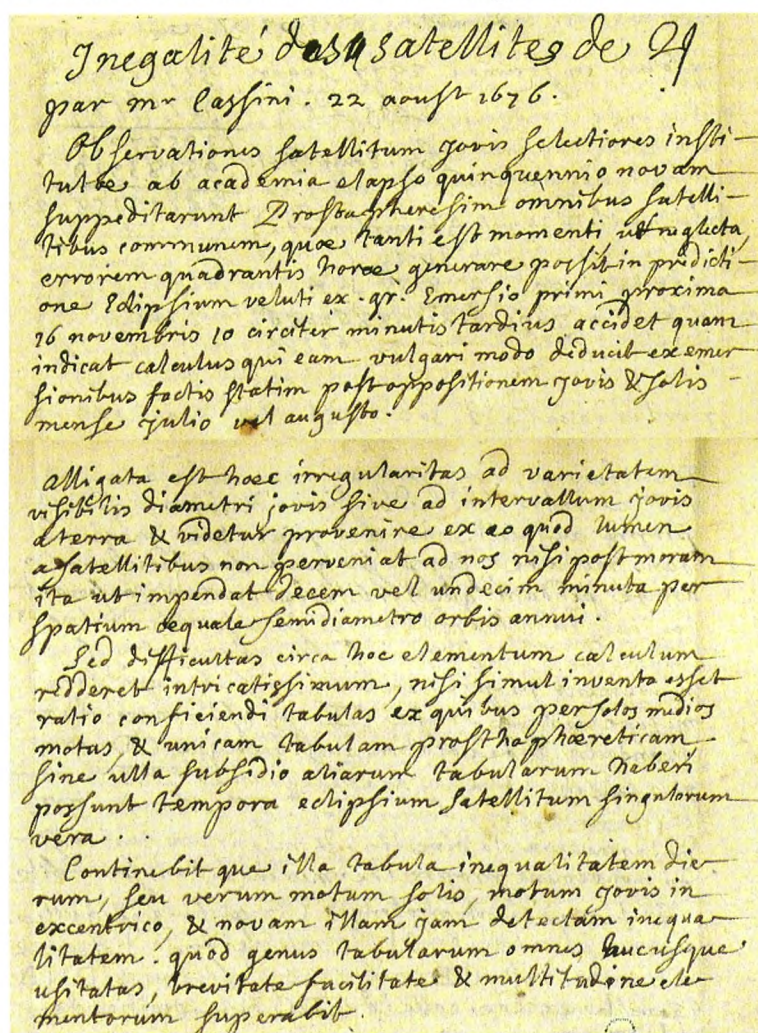
Tilbage står så spørgsmålet om, hvem der først kom på idéen. Det netop fundne manuskript kunne tyde på, at det var Cassini, men at han straks forkastede den og derpå kraftigt argumenterede imod den. Manuskriptet findes på biblioteket på Observatoire de Paris og blev offentliggjort og kommenteret af Laurence Bobis og James Lequeux i [1]. Deres konklusion deler jeg fuldt ud:

Muligvis skrev Cassini på vegne af et team, som omfattede Picard, Rømer og måske endda Richer og Philippe de la Hire (1640-1718). Det bliver en særdeles overbevisende hypotese, når man læser Akademiets protokoller og ser på observatoriets arbejdsmetoder: Måske var

opdagelsen sket i fællesskab, og havde sin oprindelse hos både Cassini og Rømer, sådan som det antydes af Fontenelle (vi må huske på, at Cassini stadig var i live, da Fontenelle skrev sin "historie" og at de begge var til stede ved Akademiets møder hver lørdag). Hvordan det nu end er, kan Cassini ikke udelukkes fra denne opdagelse, som nogle forfattere mener, og vi må anerkende hans eminente bidrag til denne løsning "af et af de smukkeste problemer i fysikken" [...]. Han optrådte som en fordomsfri videnskabsmand, som tillod andre muligheden af at fremføre idéer, der var imod hans egne overbevisninger; men han var også noget genstridig, når han nægtede at anerkende idéen om lysets endelige hastighed på trods af Halleys argumentation – som han dårligt kunne ignorere.

Halleys kritik er meget teknisk og for omfattende at komme ind på her.

Oversættelse af Cassinis notat af 22. august 1676:



Figur 2. Cassinis nyligt fundne notat af 22. august 1676.

Udvalgte observationer af Jupiters måner, påbegyndt på Akademiet for fem år siden, viste en prostaferese [ujævnhed i bevægelserne eller forskel mellem sand bevægelse og middelbevægelse], der var ens for alle månerne, og som var så stor, at den kunne give en fejl på op til et kvarter i forudsigelserne af formørkelserne; således vil for eksempel den kommende emersion af den første måne den 16. november finde sted ca. 10 minutter senere end forudsagt af beregningen på grundlag af den emersion, som fandt sted umiddelbart efter Jupiters opposition med Solen i juli og august. Denne ujævnhed er knyttet til en variation i Jupiters synlige diameter, eller til afstanden mellem Jupiter og Jorden, og den synes at stamme fra det, at lyset når fra månen til os med en tøven, sådan at det tager ti eller elleve minutter at gennemløbe en afstand lig med den årlige [jord]banes halve diameter. Men vanskelighederne ved dette princip ville gøre beregningerne meget kompliceret med mindre man samtidigt kunne finde en metode til at udarbejde en tabel, hvor hver enkelt månens formørkelse findes ud fra dens middelbevægelse og fra en enkelt ujævnhedstabel, uden anden hjælp. Sådanne tabeller vil indeholde ujævnheder for dagene eller Solens bevægelse, den excentriske bevægelse af Jupiter, og denne nye, hidtil ukendte ujævnhed. Den slags tabeller ville overgå alle hidtil brugte takket være deres korte form, deres lette brug og omfanget af data.

Hvorfor var Cassini imod teorien om lysets tøven? Hvad enten han selv eller Rømer først kom på idéen, var han hurtig til at vende sig imod den. Forklaringen ligger i en analyse af den sidste del af manuskriptet hvor det hedder (se hele notatet i boksen):

Men vanskelighederne ved dette princip ville gøre beregningerne meget kompliceret med mindre man samtidigt kunne finde en metode til at udarbejde en tabel, hvor hver enkelt månens formørkelse findes ud fra dens middelbevægelse og fra en enkelt ujævnhedstabel, uden anden hjælp.

Sådanne tabeller vil indeholde ujævnheder for dagene eller Solens bevægelse, den excentriske bevægelse af Jupiter, og denne nye, hidtil ukendte ujævnhed. Den slags tabeller ville overgå alle hidtil brugte takket være deres korte form, deres lette brug og omfanget af data.

Cassini havde gjort sig til talsmand for et internationalt projekt, hvor man ved hjælp af iagttagelser af jupitermånernes formørkelser kunne fastlægge geografiske positioner. Metoden og det internationale samarbejde hvilede på Cassinis store matematiske evner til at kunne forudberegne disse formørkelser. Han hørte til den klassiske skole, der lige siden oldtiden havde beskrevet ujævnheder ved at tabulere dem. Det var det, Cassini ønskede. Kendte man månens position i banen omkring Jupiter, kunne man ved blot at slå op i en enkelt tabel finde denne "ujævnhed", og derpå bestemme dens formørkelsestidspunkt. Hvis forklaringen på ujævnheden var lysets tøven, ville Cassinis fremgangsmåde blive "meget kompliceret", fordi han skulle bruge tabeller med dobbelt indgang for Solens og Jupiters middelanomalier.

Cassini har vel fundet det afskrækkende at indlade sig på dette meget komplicerede beregningsprojekt, selvom det kunne føre til tabeller, der ville overgå alle andre. Det er selvfølgelig hverken et argument for eller imod teorien om lysets tøven. Et argument mod lysets tøven er derimod Cassinis opfattelse, at ujævnheder i banebevægelserne skyldes variationer i jupitermånernes baneelementer, som let kunne tabuleres, fordi de intet har med Solens bevægelse at gøre.

Det fundne notat giver et indblik i, hvordan teorien om lysets tøven blev udviklet gennem diskussioner mellem især Cassini og Rømer. Cassini blev hurtigt modstander af den, men hans kritik og skepsis blev en udfordring for Rømer. Han tog udfordringen op og fastholdt teorien og imødegik på alle punkter kritikken. I Akademiets mødeprotokol fremgår, at diskussionen mellem Rømer og Cassini fortsatte gennem mange møder uden at det fremgår, hvad det drejede sig om. Det ved vi imidlertid fra Rømers brevveksling med Huygens, men det vil blive en hel afhandling i sig selv. Cassinis argument er som følger: Hvis man kan bestemme en lyshastighed ud fra den inderste jupitermånens formørkelser, skulle man også kunne bestemme den ud fra de ydre månens formørkelser. Det kan man ikke! Rømers svar er, at de ydre måner ikke bevæger på den samme regelmæssige måde som den inderste. Vi ved i dag hvorfor: De ydre månens bevægelser er uregelmæssige på grund af perturbationer fra de andre planeter.

Litteratur

- [1] Laurence Bobis og James Lequeux (2008): Cassini, Rømer and the Velocity of Light, *Journal of Astronomical History and Heritage*, **11**(2), p. 97-105.
- [2] Jan Teuber (ed.), Højdepunkter i dansk naturvidenskab, Gads Forlag, 2002.
- [3] Kurt Møller Pedersen (2007), Lys og stjerner og deres underlige bevægelser i *Oplysningens verden*, redigeret af Ole Høiris og Thomas Ledet. Aarhus Universitetsforlag.
- [4] Kurt Møller Pedersen (1976), Ole Rømers opdagelse af lysets tøven, *Astronomisk Tidsskrift* nr. 4, årgang 9, 1976, s. 160-166.



Kurt Møller Pedersen arbejder med projekter vedrørende naturvidenskabernes historie i det 17. og 18. århundrede, og specielt her i 300 året for Rømers død om nye vurderinger af Rømers bidrag til astronomi. Desuden arbejder han på en udgave af astronomen Thomas Bugges rejsedagbog til observatorier i Holland og England i 1777.

Dansk Fysisk Selskab – Årsmøde den 22.-23. juni

Dansk Fysisk Selskab

Hjemmeside: www.dfs.nbi.dk

Jørgen Schou (formand)

DTU Fotonik,

Risø Campus, Danmarks Tekniske Universitet

4000 Roskilde

E-mail: josc@fotonik.dtu.dk

Tlf. 4677 4755 / Fax 4677 4565

Johannes Andersen, næstformand (ja@astro.ku.dk)

Helge Knudsen, kasserer (hk@phys.au.dk)

Cathrine Fox Maule (cam@dmu.dk)

Kim Lefmann (lefmann@fys.ku.dk)

Anders Kristensen (ak@nanotech.dtu.dk)

Ian Bearden (ianbearden@mac.com)

Betal venligst dit kontingent til DFS til tiden enten via PBS eller det udsendte girokort. Selskabet har hvert år et stort arbejde med at sende rykkerskrivelser ud.

DFS årsmøde 2010

Dansk Fysisk Selskab afholder sit årsmøde 2010 på Hotel Nyborg Strand. Mødet starter tirsdag den 22. juni kl. 11 og slutter onsdag den 23. juni kl. 15. På andendagen afholder DFS sin årlige generalforsamling. Dagen før DFS-årsmødet, mandag den 21. juni, holder netværk for Kvinder i Fysik (KIF) sit årlige møde.

DFS-årsmødet vil indeholde følgende plenarforedrag:

- **Nergis Mavalvala**, MIT, Cambridge, USA: *The Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory (LIGO): The search for the elusive wave.*
- **Linda Tacconi**, Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik, Garching: *Gas dynamics, galaxy assembly, and star formation in the early Universe.*
- **Charles Marcus**, Harvard University, Cambridge, USA: *The nuclear environment for spin qubits.*
- En foredragsholder (Se navn på internetsiden) fra CERN med sidste nyt fra LHC experimentet.
- Som after-dinner foredragsholder: **Jens Hesselbjerg Christensen**, forskningsleder på Danmarks Klimacenter og centerleder af Center for Regional Climate Studies, DMI. Medforfatter til IPCC rapporten og deltager i FNs klimapanel: *Hvor gode er vores klimamodeller?*

Endvidere vil der være parallelsessioner i astrofysik, atomfysik, faststoffysik, nanofysik, højenergifysik, biofysik samt muligvis uddannelse og undervisning samt

fysik og klima. Sideløbende hermed vil forskningsresultater blive præsenteret som posters. DFS lægger herunder særlig vægt på at give yngre forskere mulighed for at præsentere deres resultater for en bredere kreds. Endelig vil der være en firma udstilling med nyt forskningsapparat for DFS' medlemmer. Alle landets fysikere opfordres til at deltage i Dansk Fysisk Selskabs årsmøde med indlæg og posters og ikke mindst til at bidrage til en livlig diskussion af spændende forskningsresultater.

Nye tiltag

Som noget nyt vil DFS invitere danske fysikere, der for tiden eller permanent arbejder i udlandet til at holde foredrag. Disse foredrag vil blive givet som plenarforedrag. Som noget nyt vil DFS også afholde en session med fysik og klima i forbindelse med after-dinner foredraget!

Program

Årsmødeprogrammet findes på DFS's hjemmeside (www.dfs.nbi.dk). Det vil løbende blive opdateret i takt med modtagelsen af indsendte abstracts. Det endelige program forventes at være klart i starten af juni.

DFS posterprisen 2010

DFS ønsker at opretholde det øgede fokus indledt de sidste år på årsmødets postersession. Kriterierne, som komiteen efter bedste evne vil benytte under udvælgelsen af årsmødets bedste poster er følgende: Originalt videnskabeligt indhold, rimelig informationsmængde, æstetik, overskuelighed, struktur, 'special effects', og endelig er en engageret præsentation også et plus. Derfor skal posterforfatterne være til stede ved posteren i den ene af de to poster sessioner. De tre bedste poster vil udover den obligate vin- og chokoladepræmie også blive hædret med diplomer. Vinderne kåres umiddelbart efter DFS' generalforsamling før afslutningsforedraget.

Pris for bedste foredrag af ph.d. studerende

I lighed med sidste år vil DFS også uddele en pris med den traditionelle vinpræmie for det bedste mundtlige foredrag givet af en ph.d.-studerende. Ligesom ved posterprisen lægges der vægt på originalt videnskabeligt indhold, rimelig informationsmængde og en engageret fremlæggelse af foredraget.

Frist for tilmelding og indsendelse af abstracts

Fristen for tilmelding til årsmødet og for indsendelse af abstracts er lørdag den 15. maj 2010. Tilmeldinger modtages dog også efter denne dato, så længe der er plads på hotellet, men studerende kan ikke søge om friplads (se nedenfor) efter tilmeldingsfristens udløb.

Også abstracts kan indsendes efter fristens udløb, men dels kommer disse ikke nødvendigvis med i abstractlisten og dels får indsenderen kun mulighed for en posterpræsentation.

Tilmelding, indkvartering, priser m.v.

Tilmelding til DFS/KIF-møderne foretages direkte til Hotel Nyborg Strand. Benyt venligst internet-linket til hotellet på DFS's hjemmeside (www.dfs.nbi.dk). Møderne samt indkvartering foregår på Hotel Nyborg Strand, Østerøvej 2, DK 5800 Nyborg. (tlf. +45 6531 3131, fax +45 6531 3701). Pris for mødedeltagelse, incl. eventuel overnatning og diverse måltider, fremgår af hjemmesiden. Betalingsmåder vil fremgå af hotellets bekræftelse, som fremsendes i slutningen af maj måned. Bemærk, at man frem til den 15. maj frit kan afbestille sin tilmelding, men efter denne dato er tilmeldinger almindeligvis bindende.

Fripladser for studerende: Søg inden den 15. maj!

For studerende, der ikke er indskrevet på Ph.d.-studiet, vil der være et antal fripladser. Ansøgning om en af fripladserne sker automatisk ved at afkrydse den relevante rubrik på hjemmeside-tilmeldingsskemaet. Studerende kan få friplads af DFS, og her er det en forudsætning, at man er medlem. Fripladserne vil blive fordelt kort tid efter tilmeldingsfristens udløb, og man vil modtage særskilt besked herom den 20. maj. Hvis pladserne er brugt op, har man fortsat mulighed for at deltage mod betaling som anført på tilmeldingsskemaet.

Abstracts

Fristen for indsendelse af abstracts er lørdag den 15. maj 2010. Abstracts indsendes via DFS' hjemmeside (www.dfs.nbi.dk). DFS' sektioner sammensætter programmet på grundlag af bl.a. de indsendte abstracts, og deltagerne vil få meddelelse herom, hvis deres bidrag er udvalgt til et foredrag. De øvrige bidrag (samt hvis man ikke ønsker foredrag) vil blive præsenteret i en posterudstilling. Posterboards er 1,15 m brede og 1,45 m høje, og de er hævet ca. 30-40 cm over gulvet. Se endvidere omtalen af DFS posterprisen 2010 ovenfor. De indsendte abstracts vil løbende være tilgængelige på internettet. Overhold venligst tidsfristen for rettidig indsendelse (se afsnittet om tidsfrister ovenfor).

Sprog

Årsmødets sprog er engelsk. Enkelte sessioner, f.eks. indenfor uddannelse og undervisning, kan foregå på dansk. Deltagerne bedes indrette deres præsentationer efter, at hovedparten af tilhørerne er ikke-specialister i det behandlede emne.

Transport

Transport til/fra Nyborg sørger deltagerne selv for. Der vil ikke blive arrangeret bustransport mellem Nyborg Station og Hotel Nyborg Strand. Det tager kun 10-15 minutter at spadserer mellem station og hotel.

Yderligere information

Spørgsmål vedrørende årsmødet besvares ved at sende en e-mail til josc@fotonik.dtu.dk. Benyt venligst kun denne adresse til henvendelser vedr. årsmødet.

Foreningsnyt – foredrag i foråret

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Apr.				
12/4	19.15	Titel ikke fastlagt	Jacob Trier Frederiksen	AS (Kbh)
19/4	19.00	Titel ikke fastlagt	Jacob Trier Frederiksen	AS (Årh)
19/4	19.30	Det mekaniske TV. Hvordan det hele begyndte	Benny Ahlburg	SNU
26/4	19.15	Hvor er Solens pletter og hvad betyder de for klimaet?	Christoffer Karoff	AS (Kbh)
27/4	17.00	Naturens ånd og skønhed: Den dynamiske enhed i H.C. Ørstedes syn på videnskab, undervisning, kunst og poesi	Kristine Hays Lynning	VHS
Maj				
3/5	19.00	Hvor er Solens pletter og hvad betyder de for klimaet?	Christoffer Karoff	AS (Årh)
17/5	19.15	At forstå stjernernes musik: Asteroseismologi med Kepler	Rasmus Handberg	AS (Kbh)
25/5	17.00	Titel ikke fastlagt (ordinær generalforsamling)	Hanne Andersen	VHS
31/5	19.00	At forstå stjernernes musik: Asteroseismologi med Kepler	Rasmus Handberg	AS (Årh)

Foredragene afholdes på følgende adresser:

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

AS (Årh): Astron. Selskab (Århus), Matematisk Inst., Aarhus Universitet, Ny Munkegade, Bygn. 1530, Aud. D2, 8000 Århus C.

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

VHS: Videnskabshist. Selskab, H.C. Ørsted Inst., aud. 10, Universitetsparken 5, 2100 Kbh Ø (www.math.ku.dk/videnskabshistorie).

KIF-Årsmøde 2010

Vanen tro holder Netværk for Kvinder i Fysik (KIF) årsmøde i forbindelse med DFS-årsmødet. I år er stedet Nyborg Strand og tidspunktet er mandag d. 21. juni kl. 10:45-17:30.

Programmet vil bestå af fire 30-minutters foredrag, en postersession, KIF's årlige generalforsamling og afslutningsvist et netværksmøde (i form af en selvfinansieret middag i byen) med yderligere diskussion og udveksling af erfaring. Årsmødets program vil løbende blive opdateret med titler og abstracts på <http://kif.nbi.dk/>.

De fire (kvindelige) taleres bidrag vil spænde fra rent fysikfaglige indlæg til foredrag der også dækker de mere karrieremæssige aspekter. Følgende talere er programsatte:

- **Susanne Hanson** (Sektionsleder ved Center for Ocean og is, DMI): *Danish sea ice research*.
- **Anne Trine Larsen** (Ligestillingskonsulent ved SDU): *Gender Equality in practice*.

KIF-prisen 2010

A. Formål

Netværk for Kvinder i Fysiks talentpris, "KIF-prisen", uddeles for at skabe opmærksomhed omkring kvinders betydning for fysikkens udvikling. Prisen skal opmuntre og støtte unge kvindelige fysikere til at fortsætte deres videnskabelige karriere efter kandidatgraden og videre efter erhvervelse af ph.d.-graden, og/eller at gøre kvindelige fysikere synlige som rollemodeller såvel på universiteterne som i samfundet og i erhvervslivet.

KIF-prisen er en ærespris og gives til en kvindelig ph.d.-, specialestuderende eller nyuddannet lærer, hvis arbejde udmærker sig ved videnskabelig originalitet, særligt vellykket formidling af sit arbejde til en bred kreds eller en ekstraordinær formidlingsindsats i sin undervisning.

B. Hvem kan indstilles?

Kandidater til prisen kan indstilles af en overordnet, vejleder, kollega eller kandidaten selv.

Kandidaterne skal beskæftige sig med fysikfagene og ydermere opfylde en af følgende betingelser:

- Være i gang med speciale.
- Være i gang med pædagogikumuddannelse.
- Være i gang med ph.d.-uddannelse.
- Have erhvervet deres kandidatgrad indenfor de seneste fem år (kandidatalder maximum fem år).

C. Indstillingsprocedure

1. Indstillingerne skal indsendes til KIF-prisen@ruc.dk, eller til: Kristine Niss, Bygning

- En tredje taler er endnu ikke på plads.
- *KIF-pris vinderen*, KIF har indstiftet en ærespris der uddeles til en yngre kvinde i fysik. Vinderen offentliggøres på mødet og inviteres til at fortælle om sit arbejde. Annonceringen af KIF-prisen kan også findes her i KVANT (nedenfor).

Alle deltagere opfordres til at medbringe en poster. Tilmelding og indsendelse af poster-abstract foregår via DFS' hjemmeside på samme vis og med samme deadlines som for DFS-mødet. (Man tilmelder sig DFS-mødet og krydser af at man vil deltage i KIF-mødet. Det er muligt at tilmelde sig KIF-mødet uden at tilmelde sig resten af DFS-mødet). Deltagelse i mødet koster 389 kr.

KIF vil gerne understrege at alle fysikere, ikke kun kvinder, er overordentligt velkomne til at deltage i mødet (generalforsamlingen er dog kun for KIF-medlemmer). Sproget vil være engelsk. KIF vil specielt gerne opfordre andendelsstuderende og ph.d.-studerende til at deltage i mødet.

27, Roskilde Universitet RUC, Postbox 260, 4000 Roskilde.

2. Indstillingerne skal være modtaget senest klokken 12, mandag den 17. maj 2010.
3. Indstillingen skal indeholde følgende bilag: Begrundelse for indstillingen (max. 1 side) CV (max. 1 side) Detaljeret beskrivelse af kandidatens faglige arbejde (max. 1 side) Evt. publikationsliste Hvis den pågældende er indstillet for formidling af egne forskningsresultater, skal der indsendes relevant materiale.
4. Udvalgelse.
Kandidaterne vil blive bedømt af en videnskabelig komit bestående af centerleder Britt Hvolbæk Larsen, NanoDTU; professor Merete Bilde, Kemisk Institut, Københavns Universitet og professor Ove Poulsen, rektor for Ingeniørhøjskolen i Århus.

D. Oplysning vedrørende prisen:

1. Opslag til prisindstillingen vil blive sendt til de relevante institutter, publiceret KIFs Nyhedsbrev, KVANT, LMFK-bladet, MONA samt i det netværk, som KIF har adgang til.
2. Prismodtageren vil blive orienteret skriftligt (pr email) og hendes navn offentliggjort på KIFs årsmøde, hvor prisoverrækkelsen vil ske.
3. Eventuelle spørgsmål kan stilles til KIF-prisen@ruc.dk og vil blive besvaret af et bestyrelsesmedlem for KIF.

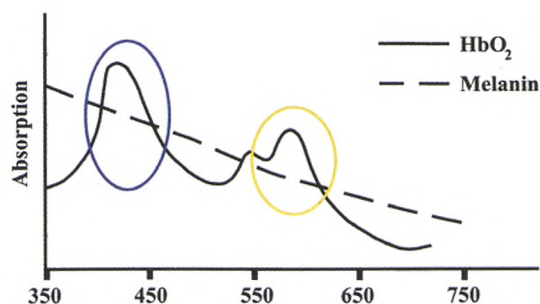
Gult laserlys

Af Morten Thorhauge og Jesper Mortensen, Advalight ApS

2010 er 50-året for den første laser. Vi giver i denne artikel en gennemgang af de forskellige typer gule lasere og deres brug. Desuden gives som eksempel en beskrivelse af et kompakt gult lasermodul udviklet i Danmark, baseret på sumfrekvensgenerering

Den første teoretiske beskrivelse af muligheden for stimuleret emission af lys blev foretaget af Albert Einstein i 1917 i hans afhandling "Zur Quantentheorie der Strahlung". Der kom dog til at gå næsten 40 år, før princippet for første gang blev brugt til at skabe forstærkning af elektromagnetisk stråling. Det var i 1958, hvor C. Townes konstruerede den første MASER – kort for Microwaves Amplified by Stimulated Emission of Radiation; en indretning der kunne forstærke et mikrobølgesignal via gennemløb af en eksiteret ammoniakgas. To år senere, i 1960, blev princippet udvidet til det optiske område, da T. Maiman lavede den første laser – Light Amplified by Stimulated Emission of Radiation; en blitzlampepumpet rubinkrystal med en bølgelængde på 694,3 nm. Siden da er brugen af lasere blevet vidt udbredt i vores samfund. Som de mest åbenlyse eksempler kan vi nævne CD/DVD-afspillere, strekodescannere og optisk fiberbaseret internet.

En anden anvendelse med stigende popularitet er det medicinske område. En laser er meget velegnet til at levere energi med høj præcision og på ellers svært tilgængelige steder grundet muligheden for levering med lyslederfibre. En anden måde lasere kan levere høj præcision på er via deres meget smalle spektralbånd. Forskellige molekyler i kroppen absorberer lys ved forskellige bølgelængder, og ved at vælge den rette bølgelængde kan man selektivt afsætte energien i en bestemt vævstype eller i et bestemt område, uden at det omkringliggende væv påvirkes.



Figur 1. Absorptionsspektre for hæmoglobin og melanin. Den blå cirkel indikerer blodets absorbtionstop omkring 418 nm, og den gule cirkel indikerer absorbtionstoppen omkring 578 nm. Blåt lys (~410- 480 nm) bruges i praksis ikke til blodkarsrelaterede behandlinger idet dets indtrængningsdybde i huden er for kort.

Et eksempel herpå kan findes i dermatologien. Oxy-

generet hæmoglobin – HbO_2 – har eksempelvis en absorbtionstop i det gule område, centreret omkring 578 nm, se figur 1, hvor blodets absorbtionskurve er plottet sammen med kurven for melanin – pigmentet i hud. Da melaninabsorbtionen er markant lavere end absorbtionen i blod omkring 578 nm, kan man ved at bruge gule lasere selektivt afsætte energi i blodkar i underhuden uden at påføre det omkringliggende væv unødigt skadelige energipåvirkninger. Dette bruges i dermatologien til behandling af en lang række blodkarsrelaterede tilstande, såsom portvinspletter, edderkoppeveener, røde strækmærker og karsprængninger. I figur 2 ses gul laser brugt i behandling. Et eksempel på behandlet resultat ses i figur 3, hvor gul laser er blevet brugt til fjernelse af karsprængning og modermærke.



Figur 2. Gul laser brugt i behandling i dermatologisk klinik.



Figur 3. Modermærke og karsprængning fjernet med gul laser. Der kan allerede konstateres en blegning efter bare én behandling.

Et andet anvendelsesområde for gult laser lys er astronomien. I dette tilfælde er det præcis bølgelængden 589,2 nm, det drejer sig om. For ved denne bølgelængde

har natrium en absorptionslinje. Netop natrium finder man i et tyndt lag i Mesosfæren i 90 kilometers højde over jorden. En laser med denne bølgelængde kan derfor danne en kunstig stjerne med veldefineret form, som så kan benyttes til at tage højde for de atmosfæriske forstyrrelser lyset fra rummet bliver udsat for på vej ned til jorden [1].

Teknologier

Der findes flere forskellige måder at frembringe laserlys på; i dag foretrækkes generelt faststoflasere, der som navnet antyder er baseret på faste stoffer. Dette er i modsætning til lasere, der er baseret på gas eller væsker. I dag er de fleste lasere i det synlige område faststof-baserede lasere, enten baseret direkte på halvlederlasere emitterende i det synlige område, eller også baseret på frekvensfordoblede faststoflasere; sidstnævnte er lasere i det nær-infrarøde område, hvor frekvensen af lyset er blevet fordoblet ved at sende strålen gennem en speciel ikke-lineær krystal.

Netop i det gule område har der dog altid manglet oplagte faststofbaserede løsninger, og der er først indenfor de seneste år kommet faststoflasere, der emitterer gult lys. Tidligere var gule lasere typisk enten farvestoflasere, hvor lasermaterialet var en alkohol hvori der var opløst et farvestof, det vil sige en væskebaseret laser, eller en kobberdampslaser hvor mediet denne gang var en gas (damp) af kobber. Men da både væsker og gasser er upraktiske at benytte, har man altid ønsket at udvikle teknologier hvor man kan lave gult lys baseret på faste stoffer.

Der er idag tre hovedtyper af faststoflasere i det gule område. Det er henholdsvis Raman-skiftede lasere, optisk pumpede halvlederlasere, og sumfrekvensgenererende lasere. Raman-skiftede lasere baserer sig på, at man ved en pumpet spredningsproces i en såkaldt Raman-krystal kan skifte en laserstråles bølgelængde. Skiftet er afhængig af krystaltypen, og til at lave gult lys benyttes f.eks. at skifte 1064 nm linien i en Nd-doteret laser op til ca. 1178 nm, hvorefter denne frekvensfordobles til 589 nm.

Optisk pumpede halvlederlasere er typisk kvantebrøndsmaterialer, der er designet til at have en overgang omkring 1150-1180 nm. Denne emission frekvensfordobles efterfølgende. Da kvantebrøndsmaterialer er designede til specifikke energiniveauer, giver denne teknologi stor fleksibilitet med hensyn til den eksakte bølgelængde. Den sidste hovedtype er de sumfrekvensgenererende (SFG) faststoflasere, som også danner grundlaget for forskningen hos Advalight ApS.

SFG-lasere til det gule område

Man behøver ikke lade sig nøje med et givent lasermaterials naturlige emissionlinier; gennem diverse ikke-lineære processer kan disse linier konverteres til andre bølgelængder. En type af disse

processer er generering af højere harmoniske. Disse processer omfatter blandt andet anden/tredje/fjerde-harmonisk generering (SHG/THG/FHG), samt sumfrekvensgenerering (SFG). SHG er også kendt som frekvensfordobling. Ved SFG blandes to forskellige bølgelængder, og resultatet bliver et felt med en fotonfrekvens, der er en lineær kombination af frekvenserne ($\propto 1/\lambda$) for de to indgående felter, se ligning (1).

$$\frac{1}{\lambda_{SFG}} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \quad (1)$$

Effekten af processen kan beskrives ved ligning (2).

$$P_{SFG} = \eta P_1 P_2 \quad (2)$$

Her beskriver P_{SFG} den resulterende effekt, η er en koefficient beskrivende effektiviteten af processen, og P_1 hhv. P_2 er de indgående felters effekt. Generelt er η ret lille, derfor får man kun en praktisk brugbar konvertering hvis de indgående effekter er betragtelige. En måde hvorpå felternes effekt kan øges betragteligt er ved at lade laserne køre i korte pulser (såkaldt Q-Switched).

Ved Q-Switching ændrer man laserens resonansforhold således, at i stedet for en kontinuerlig emission afleveres al energien i korte, kraftige pulser. I det system, vi arbejder med, har pulserne en repetitionsfrekvens på 7,8 kHz, en længde på 50-70 ns og en peakeffekt på 10-20 kW. Dette svarer til en kontinuert effekt i størrelsesordenen 5-7 W. Med disse størrelser er det muligt at opnå konverteringer fra de fundamentale, indgående felter og til SFG feltet på op til 35% i praktisk brug.

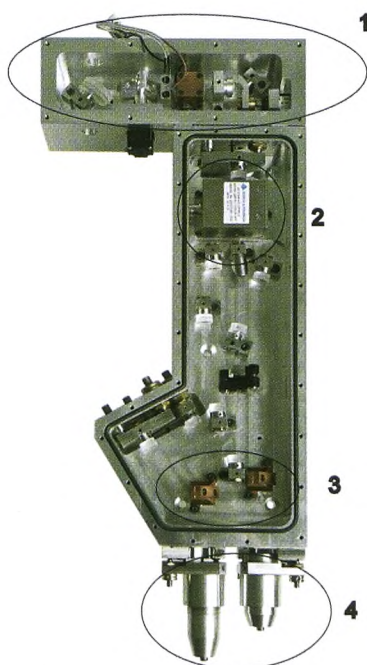
For at konstruere lasere til det gule område benyttes som oftest Nd-doterede lasermaterialer – Nd:Host, hvor værtsmaterialet (Host) typisk er en krystal af typen¹ YAG, YVO₄, GdVO₄, YLF eller YAP. Nd-atomet har emissionslinier i båndene 0,9 μm , 1,0 μm og 1,3 μm ; hvor den eksakte placering af emissionslinien afhænger af værtskrystallen. For Nd:YAG er de dominante linier 1064 nm og 1319 nm, hvilket muliggør at nå 589 nm via SFG – perfekt både til dermatologi og astronomi.

I vores lasersystem benytter vi Nd:YAG til generering af både 1064 nm og 1319 nm felterne. Vores implementation er et såkaldt endepumpet Diode Pumped Solid State (DPSS) lasersystem, hvor der benyttes laserdioder til at eksitere de primære laserkrystaller (Nd:YAG krystallerne). Nd:YAG har kraftige absorptionsbånd omkring 808 nm, så lys ved denne bølgelængde kan eksitere – også kaldet pumpe – de overgange i Nd-atomerne, der leder til emission ved 1064 nm og 1319 nm. Den eksakte emissionslinie bestemmes af resonansen af laserkaviteten, igen bestemt af egenskaberne af reflektionscoatingen på de spejle, kaviteten er opbygget af.

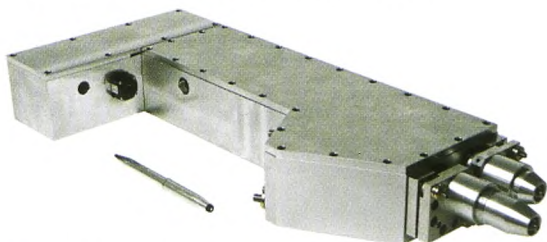
I en pulset (Q-Switched) laser benyttes en modulator – en såkaldt Q-Switch – til en periodisk modu-

¹YAG: Yttrium Aluminium Garnet (Y₃Al₅O₁₂); YVO₄: Yttrium OrthoVanadate; GdVO₄: Gadolinium OrthoVanadate; YLF: Yttrium Lithium Fluoride (LiYF₄); YAP: Yttrium Aluminium Perovskite (YAlO₃).

lering af laserkavitets resonans – basalt set moduleres kaviteten mellem en “On” og en “Off” tilstand. Man kan betragte modulationen af kaviteten som en tønde, der løbende fyldes med vand. Idet modulatorens skifter kaviteten til sin On-state svarer det til at slå bunden ud af tøndens, der så i en kraftig udladning vil tømmes helt. Det viser sig dog, at tiden fra modulatorens skifter til sin On-state og til pulsen opbygges afhænger af de fundamentale emissionskonstanter for den pågældende energiovergang i det aktive atom. Det har derfor generelt været nødvendigt at benytte separate modulatorer for hver laserlinie, og elektronisk afstemme deres skiftetiming mod hinanden således at pulserne bliver synkroniserede. Hvis de ikke er synkroniserede vil den resulterende SFG effekt blive nul jvf. ligning (2). I Advalights system benytter vi derimod kun en enkelt modulator, men har i stedet afstemt pulsobygningstiderne gennem design af kaviteterne og pumpeeffekter [2]. Dette medfører til at gøre lasermodulet både mere robust, billigere og mere kompakt. Se figur 4 og 5 for indre og ydre layout af et færdigt 2 Watt 589 nm lasermodulet.



Figur 4. Indre layout af lasermodulet indeholdende både 1064 nm og 1319 nm lasere. Cirklerne refererer til følgende: 1) SFG sektion med ikke-lineær krystal (i den kobberfarvede klods) og fokusoptik, 2) modulator (Q-Switch), 3) Nd:YAG krystaller (monteret i de kobberfarvede krystalholdere), 4) fokuseringsoptik for fiberkoblede, eksterne pumpe-lasere (de to sølvfarvede rør). Resten af komponenterne er spejlene, der udgør selve resonatorerne.



Figur 5. Komplet lasermodulet. Modulet er ca. 35 cm langt og 15 cm bredt. Vægt ca. 6 kg.



Figur 6. Gult lys i laboratoriet.

Litteratur

- [1] H. Kjeldsen (2009), Astronomernes kæmpeteleskoper, *Kvant*, 2, pp. 7-13.
- [2] Pumped laser system using feedback to pump means, WIPO International Publication Number WO 2008/006371 A1.



Morten Thorhauge har en ph.d.-grad i biomedicinsk optik fra DTU. Han har været udviklingsingeniør hos Advalight ApS siden 2006.



Jesper Liltorp Mortensen har en ph.d.-grad i laserfysik fra DTU. Han har siden 2006 været udviklingsingeniør hos Advalight ApS.

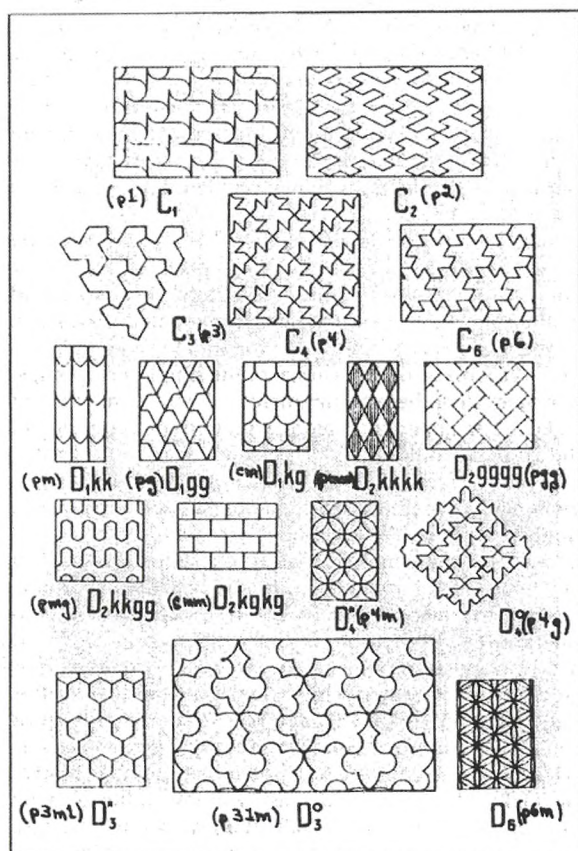
Eschers tapeter

Af Mogens Esrom Larsen, KVANT

Maurice Cornelius Escher (17.6.1898-27.3.1972) er vidt bekendt for sine utallige grafiske arbejder; men vi skal kun interessere os for hans tapetmønstre, dvs. mønstre, der er ens bane efter bane, eller om man vil, går over i sig selv ved bestemte forskydninger.

I geometri er kongruens et fundamentalt begreb. To figurer kaldes kongruente, når den ene kan bringes til dække den anden nøjagtigt ved en afstandsbevarende afbildning, fx forskydning, drejning eller spejling, gerne flere af disse efter hinanden.

En figur kan også være symmetrisk, nemlig hvis den kan bringes til at dække sig selv ved en sådan afbildning, der ikke lige er identiteten. Fx en ligebenet trekant ved spejling i den ene højde eller en ligesidet trekant drejet 120° om sit centrum osv. Et tapetmønster som fx en ternet blok tænkt udvidet i det uendelige kan desuden forskydes over i sig selv, fx vandret eller lodret i en terns sidelængde.



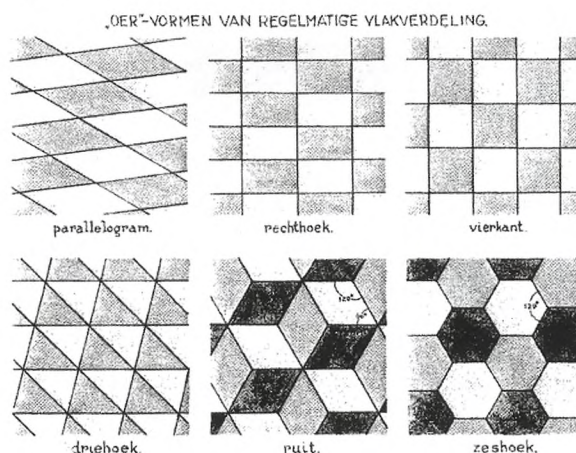
Figur 1. Polyas 17 forskellige mønstre, der hver har netop sin symmetrigruppe.

Allerede i 1921 eksperimenterede Escher med mønstre, der havde sådanne forskydnings-symmetrier. Samtidig var den ungarske matematiker George Polya (1887-1985) interesseret i mønstre med diverse symmetrier. Men en matematiker interesserer sig typisk for

at undersøge, nøjagtigt hvilke afbildninger, der fører det enkelte mønster over i sig selv. Hvert enkelt mønster er symmetrisk overfor forskydninger i en eller to og i sidste tilfælde også alle kombinationer af disse to retninger, evt. spejling i en eller flere linier og evt. drejninger om et eller flere punkter med multipla af en mulig mindste drejningsvinkel.

Sjovt nok er det klart, at den mindste vinkel, der kan forekomme, er 60° . Thi ser vi på et muligt omdrejningspunkt og det nærmeste punkt, det kan afbildes i ved en forskydning, og drejer vi nu dette nærmeste punkt en vinkel, der er mindre end 60° , og derefter forskyder dette punkt tilbage igen, kommer vi til et punkt, der er tættere på udgangspunktet end det nærmeste. Ved 60° bliver afstandene nøjagtigt ens.

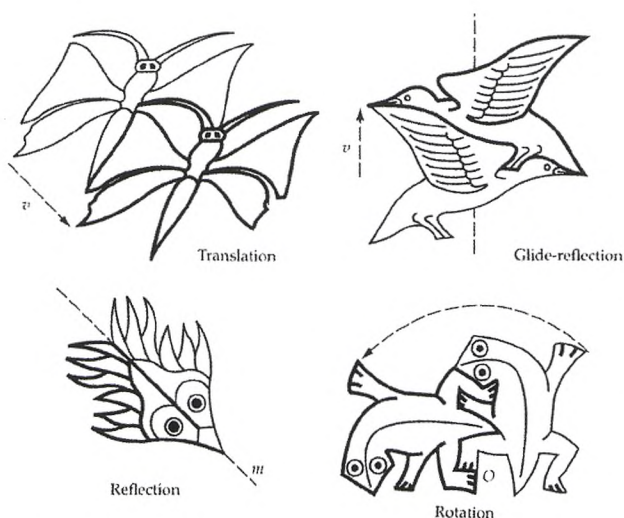
Det er derfor begrænset, hvor mange grupper af afbildninger, der kan forekomme. Polya fandt 17 forskellige i 1924 [3]. I sin afhandling gav han eksempler på 17 forskellige mønstre, der hver havde netop sin symmetrigruppe. Jeg gengiver hans eksempler fra [1]. Det var først i 1937, at Eschers bror, der var geolog, gjorde ham opmærksom på Polyas artikel, som Escher omhyggeligt kopierede i sin notesbog.



Figur 2.

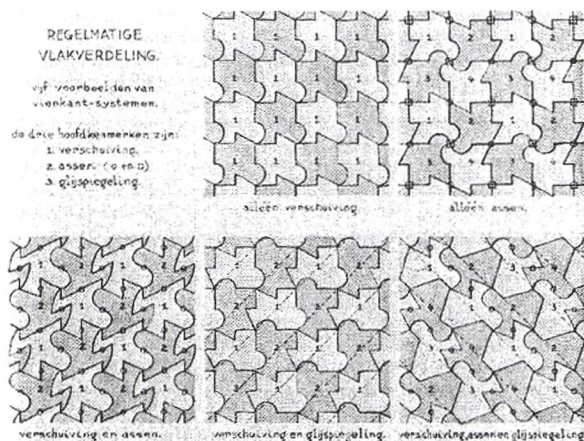
Men Escher var helt ligeglad med de 17 grupper, han ville lave mønstre med to eller tre forskellige figurer, der kunne farvelægges, så naboerne efter forskydningerne altid havde forskellige farver. Naboerne skal have en grænse fælles, ikke kun et punkt. Først gik han frem efter et simpelt grundmønster for forskydning, nemlig et af følgende fem: (De følgende figurer gengives fra [2].)

Efter valget af grundmønster skulle der vælges et motiv, som så skulle transformeres efter fire kongruens-typer, givet ved afbildningernes art.



Figur 3.

Egentlig er der kun tre, men han fremhæver den sammensatte af de to første, kaldet "glidespejling". Som eksempel giver han fem variationer på et kvadrat-system,



Figur 4. Illustration som Escher brugte ca. 1960 i sine forelæsninger til at forklare teorien om regelmæssig opdeling af planen. Eschers titel lyder "Regulær opdeling af planen. Fem eksempler på kvadratsystemer". Til venstre har han noteret "De tre karakteristika er: 1. translation, 2. akser (○ og □), 3. glide-refleksion". Ved de øverste to mønstre er noteret "kun translation" og "kun akser". Ved de nederste mønstre er noteret "translation og akser", "translation og glide-refleksion" og "translation, akser og glide-refleksion".

hvor symbolerne □ og ○ angiver drejninger på hhv. 90° og 180° om det punkt, symbolet markerer. Han giver nu en klassifikation af mulige mønstre, 24 ialt, med to farver, inddelt efter de 5 grundmønstre, A,...,D og de anvendte symmetrier (se figur 5).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
A Parallelogram										
B Rhombus										
C Rectangle										
D Square										
E Isosceles right triangle										

Overview of 10 asymmetric polygon systems, based on 5 groups of quadrilaterals with a minimum of 2 contrasting colors and one motif

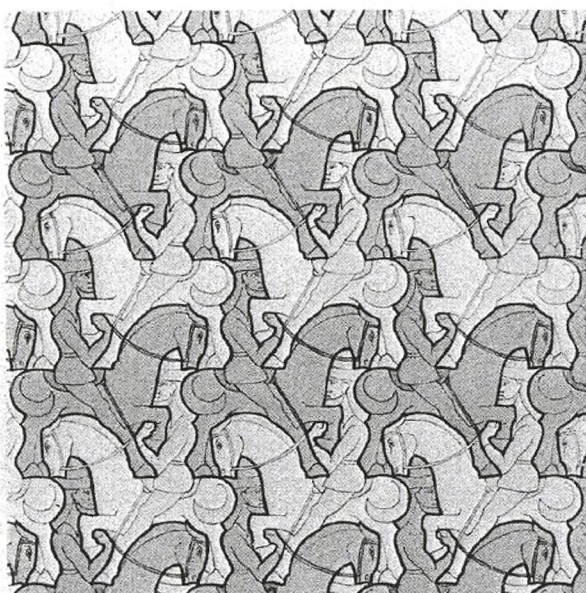
A										
Parallelogram	I ^A	II ^A	III ^A							
B										
Rhombus	I ^B	II ^B	III ^B	IV ^B		VI ^B				
C										
Rectangle	I ^C	II ^C	III ^C		V ^C		VII ^C	VIII ^C		
D										
Square	I ^D	II ^D	III ^D	IV ^D	V ^D	VI ^D	VII ^D	VIII ^D	IX ^D	
E										
Isosceles right triangle										X ^E

Figur 5.

system	[direction of] translations	[location of rotation] axes	[direction of] glide-reflections
I	in both transversal directions and in both diagonal directions	none	none
II	in one transversal direction	4: on the vertices, 2-fold 2: in the centers of parallel sides, 2-fold	none
III	in both diagonal directions	4: in the centers of all sides, 2-fold	none
IV	in both diagonal directions	none	glide-reflection in both transversal directions
V	in one transversal direction	none	glide-reflection in one transversal direction glide-reflection in both diagonal directions
VI	in one diagonal direction	2: in the centers of two adjacent sides; 2-fold	glide-reflection in one diagonal direction glide-reflection in both transversal directions but only in the direction of the sides without rotation point
VII	none	2: in the centers of parallel sides, 2-fold	glide-reflection in one transversal direction glide-reflection in both diagonal directions
VIII	none	4: on the four vertices, 2-fold	glide-reflection in both transversal directions
IX	none	2 4-fold ones on diagonal vertices 2 2-fold ones on diagonal vertices	none
X	none	3 4-fold ones on the vertices 1 2-fold one in the center of the hypotenuse	none

Figur 6.

I det følgende vises tre typiske mønstre med angivelse af arten nedenunder.



Figur 7. System IV^B.

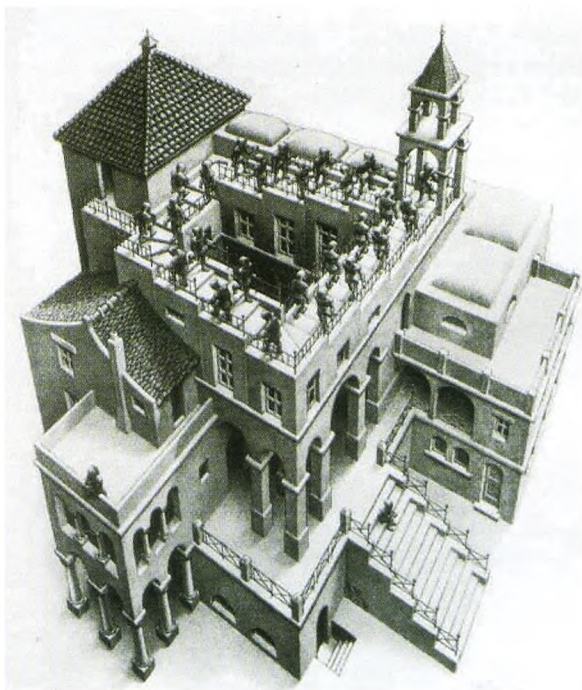


Figur 8. To eksempler på system I^A.



Figur 9. System V^C .

Han lavede eksempler på alle 24 typer, i alt lavede han mange hundrede tapeter. Jeg vil slutte med at vise et helt andet aspekt, nemlig en af hans tre umulige figurer. Denne her kalder jeg: "Altid op ad bakke og altid lige langt!" En tilværelsens metafor.



Figur 10.

Litteratur

- [1] Martin Golubitsky and Ian Stewart, *Fearful Symmetry*, Blackwell, Oxford, 1992.
- [2] Doris Schattschneider, M. C Escher, W. H. Freeman and Company, New York, 1990.
- [3] George Polya, Über die Analogi der Krystalsymmetrie in der Ebene, *Zeitschrift für Kristallographie* **60** (1924) 278282.



Mogens Esrom Larsen er tidligere lektor i matematik på Københavns Universitet og redaktør ved Kvant siden starten.

PFEIFFER  **VACUUM**

OmniStar™
ThermoStar™
Massespektrometer system



Sampling fra atmosfæretryk

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

Stjernehimlen

Ringformet solformørkelse den 15. januar 2010 set i Indien

Vi bringer denne rejsebeskrivelse fra *Mikael Svalgaard*: Vi rejste til Kanyakumari ved det sydligste punkt af Indien for at observere "Århundredets ringformede solformørkelse". Det var nærmest det modsatte af min sidste solformørkelsesekspedition, hvor Solens diameter var nær det mindst mulige og Månens diameter var nær maksimum – resulterende i imponerende 5,6 minutters totalitet. Denne gang var tallene byttet om og Månen var derfor alt for lille til at dække Solen fuldstændigt. Det gav i stedet en smuk ring der varede i 10 minutter. Oplevelsen var fantastisk, godt hjulpet på vej af de vidunderlige indere vi delte oplevelsen med. Jeg tog billeder gennem et teleskop med H-alfa filter. Billedet af Månen i silhuet ovenpå Solen mindede mig om Venus-passagen i 2004 – det fortæller virkelig noget om afstande og størrelser i vores solsystem. Foto: Mikael Svalgaard.



Venus-passage 2004, der blev valgt som Astronomy picture of the day. Foto: Mikael Svalgaard (www.leif.org/mikael).

Solformørkelse over græsk tempel

Den ringformede solformørkelse den 15. januar kunne også observeres fra Grækenland, selv om den ikke var centreret her. De græske vejrguder viste sig fra deres venlige side og åbnede skyerne nok til at forevige det magiske øjeblik hvor solformørkelsen kunne ses hængende over det antikke Poseidon Tempel ved Sounio, Grækenland. Billedet er taget ca. 2000 meter sydvest for templet, hvilket var bestemt til at være den optimale position for sådan en enkelteksponering. Optagelsen var forberedt i en uge op til begivenheden af Chris Kotsiopoulos og Anthony Ayiomamitis. Billedet blev valgt som "Astronomy picture of the day".





Stjernehimlen
den 15/4 kl. 23.00

Månens faser



På *morgenhimlen* ses Jupiter.

På *aftenhimlen* ses Merkur, Venus, Mars, og Saturn.

Solsystemet ca. 15. april

Kun planeter synlige med det blotte øje er vist nedenfor.

Udenom planetbanerne ses Dyrekredsens 12 stjernebilleder.

Den røde streg markerer Ekliptika - Solsystemets baneplan.

Astronomiske begivenheder

- 20/3 Forårsjævnøgn
- 28/3 Sommertid begynder
- 22/4 Stjernesudssvømmen *Lyriderne* kulminerer
- 5/5 De lyse nætter begynder
- 21/6 Sommersolhverv



Den gode stemning II. Ørets fysik og tonal musikalitet

Af Jens Ulrik Lefmann, Birkerød Gymnasium og DTU

I fortsættelse af "Den gode stemning I" fra KVANT, december 2009, gennemgås træk af ørets fysik og sammenhængen med vores opfattelse af toner og harmonier. Musikalitet beror bl.a. på ørets evne til at Fourieropløse klange, men ny indsigt kan også opnås gennem forståelsen af den harmoniske forvrængning, som finder sted i mellemøret. Dette vil jeg underbygge med beskrivelser af simple, mindre kendte forsøg, der er lette at udføre.

Vores forståelse af sammenhængen mellem musik, matematik og naturvidenskab starter hos Pythagoras: Med vore øjne ser vi stjerner og planeter, og med vore ører sanser vi sfærernes musik. I den græske oldtids tankegang var der i matematik en understrøm af mystik, og gennem den kunne mennesket få indsigt i universet. Rene toneintervaller blev forbundet med universelle talforhold, konsonans¹ mellem toner blev forstået som en sansning af selve matematikken, der kunne forbinde menneskets psyke med kosmos.

I dag ved vi, at der ikke er lyd i det tomme rum, og med noget mindre patos forstår vi sansning af konsonans mellem toner som en del af ørets fysik. I denne artikel diskuteres *placeteorien* for sansning af tonehøjde i det indre øres cochlea (sneglen) og den rolle, som den harmoniske forvrængning i mellemørets knogler spiller, i lyset af nogle mindre kendte eksperimenter, man selv kan udføre. Disse forsøg kan afdække rollefordelingen mellem ørets fysik og hjernen; hvad sker der før og efter "digitaliseringen"² af det analoge lydsignal på vejen frem til vores bevidsthed? Jeg vil omtale, hvordan man kan fremkalde akut *diplacis binauralis*³ og hvilke konsekvenser, det får for forståelsen af tonal musikalitet. Ligesom den foregående artikel [1] er denne et forkortet uddrag af en mere grundig artikel på Danmarks undervisningsportal EMU [2].

Frekvensforhold

For to toner er det alene frekvensforholdet $x = f_2/f_1$, som er bestemmende for hvilket interval, vi oplever mellem tonerne. To andre toner med samme frekvensforhold opfattes altså som samme interval. Dette træk ved vores tonesansning burde give mere anledning til undren, end tilfældet er, og jeg vil give et bud på en forklaring.

Falskhed og renhed, klaverstemmerens usikkerhedsrelation

En præcis sansning af tonehøjde kræver tid. Hvis man spiller to toner på 440,0 Hz og 440,2 Hz, vil man først efter 5,0 s have hørt en svævning. Hvis man spiller en tone med frekvensen f i et kort tidsrum Δt , kan man beregne lydsignalets Fouriertransformerede, som

viser, at signalet ikke kun indeholder én frekvens, men uendelig mange frekvenser i et interval omkring f med bredden $1/\Delta t$. Når man med øret eller et måleapparat modtager et lydsignal, kan man foretage en frekvensbestemmelse med en vis ubestemthed Δf , som må være større end denne laveste værdi. Det betyder, at

$$\Delta f \cdot \Delta t \geq 1 \quad (1)$$

Vi kalder denne matematiske ulighed for klaverstemmerens usikkerhedsrelation. Den minder om Heisenbergs kvantemekaniske usikkerhedsrelation. Hvis man nemlig ganger uligheden igennem med Planck konstanten h , får man den fra kvantemekanikken velkendte tids-energi-usikkerhedsrelation

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h \quad (2)$$

for en foton med frekvensen f og energien $hf = E$.

Usikkerhedsrelationen fortæller, at jo højere krav man stiller til en klaverstemning, jo længere tid tager den. Formålet her er at indse, at når man skal spille en falsk tone, så slipper man bedst fra det ved at vælge en dyb tone med lav frekvens f og kun spille den i et kort tidsrum Δt : For den relative ubestemthed på frekvensen gælder da

$$\frac{\Delta f}{f} \geq \frac{1}{f \cdot \Delta t} \quad (3)$$

Hvis vi fx tager et dybt A med $f = 220$ Hz og lader det klinge i tidsrummet $\Delta t = 0,2$ s, vil den relative usikkerhed $\Delta f/f$ være mindst 2 %. Til sammenligning er afvigelsen mellem den rene terts og den pythagoræiske terts kun $(81-80)/80 = 1,25$ % (se [1] eller [2]). I Bachs præludium fra Das Wohltemperierte Klavier (WTK) vol. 1 i C#-dur benyttes disse tricks: Der spilles hurtigt og staccato. Desuden ligger den falske terts i slutakkorden netop meget dybt, se figur 4.

Udledning af klaverstemmerens usikkerhedsrelation

En sinustone spillet i et langt tidsrum indeholder kun én bestemt frekvens f_0 . Men hvis den kun spilles i et kort tidsrum, vil signalet indeholde mange frekvenser omkring f_0 . Lad os analysere det signal, som fremkommer ved at lade en ren tone med frekvens f_0 klinge i et

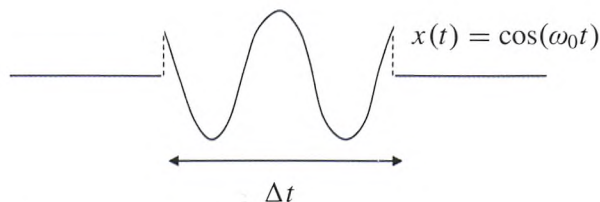
¹ Konsonans: Harmonisk samklang mellem to eller flere toner, modsat dissonans.

² Det signal, der gennem hørenerven skal give os oplevelsen af en tone, har intet tilbage af den analoge svingning og kan ikke interferere fysisk med andre toner.

³ *Diplacis binauralis* er en tilstand, hvor den samme tone opleves som to forskellige toner alt efter hvilket øre den sanses gennem.

tidsrum af varigheden Δt .

$$x(t) = \begin{cases} \cos(\omega_0 t) & \text{for } -\Delta t/2 \leq t \leq \Delta t/2 \\ 0 & \text{ellers} \end{cases} \quad (4)$$



Figur 1. En kort tone af varighed Δt .

Af bekvemmelighedsgrunde har vi sat amplituden til 1 og benyttet den cykliske frekvens $\omega_0 = 2\pi f_0$. Endnu større bekvemmelighed opnås ved at skrive signalet på den komplekse form

$$x(t) = \begin{cases} e^{i\omega_0 t} & \text{for } -\Delta t/2 \leq t \leq \Delta t/2 \\ 0 & \text{ellers} \end{cases} \quad (5)$$

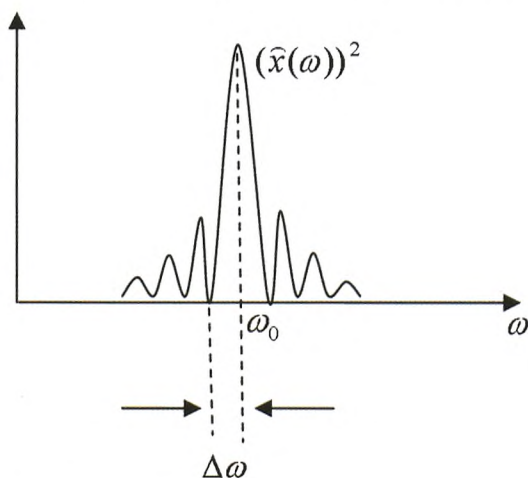
Den Fouriertransformerede beregnes til

$$\hat{x}(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt \quad (6)$$

$$= \int_{-\Delta t/2}^{\Delta t/2} e^{i(\omega_0 - \omega)t} dt \quad (7)$$

$$= \frac{2}{\omega_0 - \omega} \sin((\omega_0 - \omega)\Delta t/2) \quad (8)$$

Singulariteten i ω_0 kan hæves, idet vi finder $\hat{x}(\omega_0) = \lim_{\omega \rightarrow \omega_0} \frac{2}{\omega_0 - \omega} \sin((\omega_0 - \omega)\Delta t/2) = \Delta t$ som maksimumsværdi. Grafen for $(\hat{x}(\omega))^2$ viser, hvordan energien fordeles sig på forskellige frekvenser, se figur 2.



Figur 2. En kortvarig tones energifordeling på forskellige frekvenser.

Som mål for frekvensusikkerheden finder vi afstanden fra ω_0 til den værdi ω , hvor den Fouriertransformerede $\hat{x}(\omega)$ første gang bliver nul. Det sker, når $(\omega_0 - \omega)\Delta t/2 = \pi$, hvilket giver $\Delta\omega = \omega_0 - \omega = 2\pi/\Delta t$, eller $f_0 - f = \frac{1}{\Delta t}$. Idet vi nu tager denne størrelse som mindste værdi for usikkerheden Δf , har vi klaverstemmerens usikkerhedsrelation $\Delta f \cdot \Delta t \geq 1$.

Musikeksempel

J.S. Bach, Præludium i C#-dur Das Wohltemperierte Klavier I, 1722, BWV 848. Bemærk de brudte akkorder her i modsætning til C-dur præludiet. Der er tradition for at spille staccato og hurtigt, så tonerne kun klinger samtidigt ganske kortvarigt. I overensstemmelse med klaverstemmerens usikkerhedsrelation kan man på denne måde affinde sig med C#-durs falske terts⁴. Zuzana Ruzickovas indspilning [3] benytter en dæmper, som fjerner overtonerne i en sådan grad, at man næppe hører hvor uharmonisk C#-dur er. Jo rigere overtoneklang, des større krav er der nemlig til renheden – igen ifølge klaverstemmerens usikkerhedsrelation.



Figur 3. J.S. Bach, Præludium i C#-dur Das Wohltemperierte Klavier I, 1722, BWV 848

En række arpeggio-figurer leder frem til slutakkorden, se figur 4: Den næstnederste tone, som er tertsen, er markeret med rød pil. Hvis man fjerner den, får vi en tom C#-akkord med rene kvinter og kvarter. Akkorden "kønsbestemmes" som en durakkord ved at indlægge en durterts (den røde pil), og ved at lægge den ind dybt i akkorden tolereres den bedre i overensstemmelse med klaverstemmerens usikkerhedsrelation, end hvis den havde ligget højt oppe i akkorden, som den gør i C-dur fugaens slutakkord.

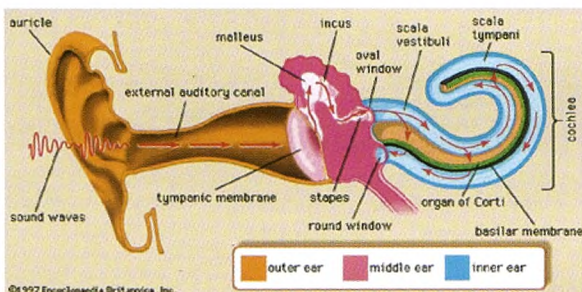


Figur 4. Afslutning af J.S. Bach, Præludium i C#-dur Das Wohltemperierte Klavier I, 1722, BWV 848 Bemærk, hvor lavt tertsen ligger i slutakkorden, rød pil.

⁴I tempereringer anvendt i barokken er C#E# en meget lys og provokerende terts i modsætning til C-dur tertsen CE, se [1] eller [2].

Høresansens fysik

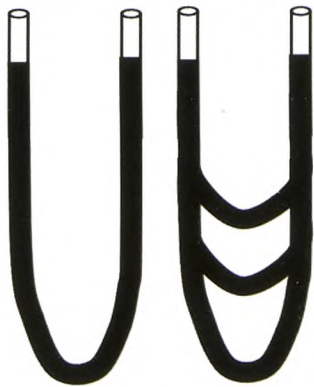
For at forstå grundlaget for oplevelsen af konsonans, må man kende lidt til ørets fysiologi. Ved trommehinden omdannes lydets trykssvingninger i luften til mekaniske svingninger, der via kroppens tre mindste knogler i det luftfyldte mellemøre formidles videre til sneglen – cochlea – via det ovale vindue (på figur 5 er cochlea delvis foldet ud). Her fortsætter signalet inde i cochlea som en væskesvingning, idet et tryk indad på det ovale vindue resulterer i en øjeblikkelig udbuling ved det runde vindue (cochlea er overalt omgivet af knoglevæv på nær de to vinduer). Frekvensen vil bestemme længden af den svingende væskestræng i cochlea. Jo højere frekvens, jo mindre svingende væske, jo kortere svingende væskestræng. Den elastiske basilmembran i midten adskiller de to dele af den væskefyldte cochlea. En given frekvens giver resonans med en bestemt længde af væskestrengen, som så passer med et bestemt sted, hvor basilmembranen selv tager del i væskesvingningen. Basilmembranen er belagt med et tæppe af hårceller, som via individuelle nerveforbindelser til hjernen kan fortælle, hvor på basilmembranen, der er forstyrrelse. Cochlea bliver på denne måde en fysisk frekvensanalysator, som danner en klangfigur på basilmembranen, der kan betragtes som det indkomende lydsignals Fouriertransformerede. Se animationerne her [4].



Figur 5. Ørets tre dele. I mellemøret formidles trommehindens svingninger via øreknoglerne, hammeren, ambolten og stigbøjlen, videre til en svingning i sneglens lymfевæske gennem det ovale vindue. Undervejs opstår der harmonisk forvrængning (Encyclopaedia Britannica).

Forsøg med væskesvingninger

Man kan forberede forståelsen af cochleas virkemåde ved at udføre forsøg med væskesvingninger i et U-rør:



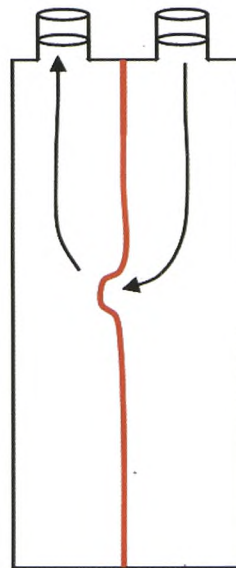
Figur 6. Til venstre et simpelt rør. Til højre en resonator med tre frihedsgrader.

Et U-rør fyldes med væske med densitet ρ . Væskestrængens længde er L . U-rørets to ender skal være lodrette, se figur 6 tv. (resten af røret kan gerne være en slange, som bugter sig vilkårligt). Når væsken i højre rør hæves x i forhold til ligevægtsniveauet, vil systemet have en potentiel energi af størrelsen $E_{pot} = \rho A g x^2$, hvor A er tværsnitsarealet af røret. Dette udtryk viser, at væskestrengen svinger som en harmonisk oscillator med fjederkonstanten $k = 2\rho A g$, hvor g er tyngdeaccelerationen. Massen af den svingende væskestræng er $m = \rho A L$. Hvis vi antager, at alle dele af væsken hele tiden bevæger sig med samme fart, kan vi beregne svingningsfrekvensen til

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{2g}{L}}. \quad (9)$$

Altså jo længere væskestrengen er, jo lavere frekvens svinger den med.

Lad os nu forestille os et mere kompliceret rørsystem med flere forbindelser, så vi kan få forskellige længder af væskestrænge $L_1, L_2, L_3, \dots$ svarende til frekvenserne $f_1, f_2, f_3, \dots$ se figur 6 th. Hvis man med et stempel, der svinger med én af disse frekvenser, trykker ned og op på væsken øverst til venstre, vil den del af væsken, som har en længde svarende til denne frekvens, blive sat i resonanssvingninger.



Figur 7. Resonator med uendelig mange frihedsgrader.

Endelig kan vi udbygge systemet til et væskefyldt kar med to åbninger foroven, se figur 7. Væsken adskilles i to dele med en gummimembran. Ved påvirkning med en bestemt frekvens gennem den ene åbning vil der opstå en resonanssvingning svarende til de sorte pile, sådan at den svingende væskestræng får den rigtige længde svarende til denne frekvens. Membranen vil nu vibrere ét bestemt sted, og det sted vil flytte sig, hvis vi ændrer frekvensen. På den måde koder en bestemt frekvens til en forstyrrelse et bestemt sted på membranen. Apparatet er nu en model for cochlea. Væsken i cochlea sættes i svingninger af

stigbøjlen gennem det ovale vindue. Den anden åbning er det runde vindue. Placeringen af en forstyrrelse ved en bestemt frekvens er nu ikke længere bestemt af tyngdekraften, men derimod af stivheden af basilarmembranen samt de membraner, der dækker de to vinduer, samt hele cochleas geometri i øvrigt. (Der tales tit om bølger, som bevæger sig gennem cochlea fra det ovale til det åbne vindue. Men væskestrengens længde er langt mindre end bølgelængden i lymfevæsken, hvilket gør bølgebegrebet irrelevant; man kan altså slet og ret betragte bevægelsen som en svingning af en usammentrykkelig væske.)

Placeteorien og dens problemer

Et tæppe af hårceller på basilarmembranen meddeler hjernen via et nervebunt, *hvor* forstyrrelserne finder sted. Denne forståelse af sansning af tonehøjde går under navnet *placeteorien*. Selve kodningen, der til ethvert sted på basilarmembranen tilordner sansning af en bestemt tonehøjde, kan umuligt tænkes at være fast. Dels vokser organismen, membranens geometri og stivhed ændres med alder. Eventuel sygdom kan medvirke til at ændre de fysiske parametre, der bestemmer resonansstedets placering på basilarmembranen. Dels skal de to ører endda være "enige", eller hjernen skal fortolke to signaler fra hvert sit øre. Her er en pointe, vi kommer tilbage til. Når vi hører en tone fra et musikinstrument, vil den være ledsaget af overtoner, der som regel er multipla af grundfrekvensen. En tone med overtoner danner derfor normalt en klangfigur på basilarmembranen svarende til alle multipla af grundfrekvensen. To toner med grundfrekvenserne f_1 og f_2 vil have uendelig mange fælles partialtoner, når frekvensforholdet er et rationalt tal $f_2/f_1 = p/q$. Ligningen

$$npf_1 = nqf_2 \quad (10)$$

viser jo, at partialtonerne for den første tone med numrene $p, 2p, 3p$ osv. er identiske med partialtonerne for den anden tone med numrene $q, 2q, 3q$ osv. Fællesskabet mellem klangfigurerne er det fysiske grundlag for oplevelsen af slægtskabet mellem tonerne, som vi kalder *konsonans*. Jo mindre tallet $p + q$ er, des mere fysisk fællesskab er der mellem de to klangfigurer, og jo mere konsonans oplever vi.

Forsøg, som man selv let kan udføre, viser imidlertid, at vi også oplever dette konsonansslægtskab mellem *rene* sinustoner, altså toner, der ikke er ledsaget af overtoner. Det kan placeteorien *ikke* gøre rede for. Stimuleringsstedet på basilarmembranen for en tone og stimuleringsstedet for oktaven over er jo bare to steder, der ikke umiddelbart er fysisk beslægtede. Det kan imidlertid forstås, hvis vi tager den harmoniske forvrængning med ind i vores forståelse:

Harmonisk forvrængning

Når et signal $x(t)$ skal gennem fx mikrofon, forstærker og højttaler, er det oftest mest ønskeligt at udgangssignalet $y(t)$, der kommer ud af højttaleren, er en forstærket og *uforvrænget* kopi af indgangssignalet. Normalt

vil udgangssignalet være en funktion af indgangssignalet

$$y(t) = F(x(t)) \quad (11)$$

I "bedste" fald opnår vi et uforvrænget signal, når F er lineær, sådan at $y(t) = A \cdot x(t)$, hvor A er en konstant.

Hvis F ikke er lineær, opstår der *harmonisk forvrængning*.

Hvis $x(t)$ er et periodisk signal, så vil $y(t)$ også være periodisk. Hvis $x(t)$ er en ren sinustone med frekvens f , så vil udgangssignalet være et sammensat signal med samme periode, som derfor kan Fourieropløses i partialtoner med frekvenserne $f, 2f, 3f, \dots$ osv. Hvis $x(t)$ er et signal sammensat af to toner med frekvenserne f_1 og f_2 , vil udgangssignalet indeholde frekvenserne

$$f = n_1 f_1 \pm n_2 f_2 \quad (12)$$

hvor n_1 og n_2 er hele tal. Den andel, de forskellige kombinationsfrekvenser indgår med, afhænger stærkt af, hvordan transmissionsoperatoren F afviger fra at være lineær.

Hvis for eksempel $F(x) = Ax + Bx^2$, så vil frekvenserne $2f_1, 2f_2, f_1 + f_2$ og $f_1 - f_2$ alle optræde i udgangssignalet ud over f_1 og f_2 . Tilføjer man et tredjegradsled Cx^3 til $F(x)$, vil der forekomme kombinationsfrekvenser med $|n_1| + |n_2| \leq 3$ osv.

En meget kraftig forvrængning opnås ved fx at synge gennem en redekam omviklet med pergamentpapir (kazoo), og her kommer der et væld af kombinationsfrekvenser. Dens forvrængning svarer til en ensretterkomponent i et elektrisk kredsløb.

Forvrængning i øret

Man har med interferometriske målinger påvist, at de nævnte forvrængningsprodukter forekommer på basilarmembranen i cochlea hos levende marsvin. Se eventuelt artiklen [5].

En række forsøg, man selv kan udføre, kan forklares ved, at lydssignaler forvrænges i mellemøret på vejen fra trommehinden via øreknoglerne til cochlea.

De følgende forsøg kræver en tonegenerator med to kanaler. Man kan downloade en prøveversion af Realtime Analyzer Light [6]. Her får man adgang til en tonegenerator med to kanaler samt en meget hurtig FFT frekvensanalysator, som virkelig fungerer i realtid.

Differenstoner og svævninger

Send 500 Hz og 700 Hz ind i samme øre. Man hører, at der opstår en differenstone på 200 Hz. Send 1500 Hz og 1502 Hz ind i samme øre. Så oplever man en svævning på 2 Hz.

Hvis frekvensforholdet for to toner er rationalt $f_2/f_1 = p/q$ (antag brøken uforkortelig), så vil de to toner begge være partialtoner for en fælles grundtone med frekvens $f_0 = \frac{1}{q}f_1 = \frac{1}{p}f_2$. Alle kombinationsfrekvenser er da multipla af denne fælles grundfrekvens

$$f = n_1 f_1 + n_2 f_2 = (n_1 q + n_2 p) f_0 = m f_0 \quad (13)$$

idet tallet i parentes for passende valg af n_1 og n_2 kan frembringe ethvert helt tal m , når p og q er primiske (dvs. når deres største fælles divisor er 1).

Hvis frekvensforholdet f_2/f_1 for to toner er irrationalt, vil mængden af kombinationsfrekvenser derimod ligge tæt, sådan at ethvert nok så lille åbent interval vil indeholde uendelig mange af disse kombinationsfrekvenser, hvis energimæssige andel dog vil være aftagende for store værdier af n_1 og n_2 .

Ud fra dette kan man forstå, at en kombination af toner i ren oktavafstand (2/1), kvintafstand (3/2), kvartafstand (4/3), tertsafstand (5/4) eller moltertsafstand (6/5) danner *enkle* klangfigurer med stort fællesskab af partialtoner. Med større heltal i forholdsbrøken bliver klangfiguren gradvis mere mudret idet omfanget af fælles partialtoner svinder ind. Hvis f_2/f_1 er et irrationalt tal tæt på et rationalt tal med lav nævner, vil tonerne dog stadig opfattes som konsonante på grund af en vis frekvensbredde i basilarmembranens respons.

Særligt overbevisende forsøg kan man udføre med to ultralydstransducere. Hvis den ene udsender ultralyd med frekvensen 40.000 Hz og den anden 40.500 Hz, kan man naturligvis intet høre, hvis lydene sendes ind gennem hvert sit øre; lydene ligger jo en oktav over den hørbare grænse. Der sker absolut ingenting i cochlea. Men hvis lydene sendes ind gennem *samme* øre, vil man tydeligt høre en differens på 500 Hz. Man kan altså ikke høre ultralyd, men man kan høre *forskellen* mellem ultralydstoner! (Man kan i øvrigt tydeligt iagttage Dopplereffekt, hvis de to lydgivere bevæges lidt i forhold til hinanden med en relativ hastighed på 2-3 mm/s).

Forsøg med to ører afslører hjernens rolle⁵

Med fx 1205 Hz og 1200 Hz vil man tilsvarende opleve en svævning på 5 Hz, når tonerne kommer ind gennem samme øre. Hvis de derimod kommer ind i hvert sit øre, vil man ikke opleve nogen svævning, idet der ikke forekommer interferens af svingningerne. Interferensfænomener finder kun sted i "analogdelen", dvs. når de to lydsignaler når frem til *samme* basilarmembran. Fra hørenerverne og videre frem til bevidstheden ("digitaldelen?") kan interferens ikke finde sted.

De fleste mennesker oplever tonehøjden for en bestemt tone som den samme, hvad enten lyden kommer ind gennem det ene øre eller det andet. Kodningen, som "oversætter" fra *stimulering* ét eller andet sted på basilarmembranen til en *oplevelse* af tonehøjde, stemmer normalt overens for de to ører. Det er ikke almindeligt at folk "hører dobbelt". *Diplacusis binauralis* er en sjælden tilstand, hvor samme frekvens opleves som to forskellige toner, alt efter hvilket øre den høres gennem.

Et simpelt forsøg, man selv kan udføre, viser, at hjernens sansning af tonehøjde kan omprogrammeres på få sekunder: Hvis man sender 1200 Hz ind i det ene øre og 1250 Hz ind i det andet øre samtidig, vil man efter ganske få sekunder kun opleve én tone, selv om der er en halv tones forskel. Det er jo ganske overraskende. Man må jo forestille sig, at hjernen omprogrammerer den kodning, der oversætter en stimulering ét sted på

basilarmembranen til en sansning af tonehøjde, sådan at "ørerne nu tror, de er enige om netop én tone", som de jo plejer. (Noget lignende sker efter et stykke tid, hvis man sætter to solbrilleglas med lidt forskellige farver foran øjnene). Efter 10-20 sekunder vil hjernen befinde sig i en akut tilstand af *diplacusis binauralis*. Det kan man efterprøve ved at slukke for den ene kanal og derefter flytte den anden *plug* skiftevis fra det ene øre til det andet, idet man sørger for, at tonen ikke på noget tidspunkt sanses samtidigt gennem begge ører. Det er en god id at bruge de helt små *ear plugs*. Det kan nærmest være en sårende oplevelse for musikalske mennesker, at den samme tone opleves helt forskelligt med de to ører.

Jeg har lavet en stereolydfil, hvor melodien i venstre kanal klinger en halv tone lysere end i højre kanal. Høres den i mono, lyder det som forventet forfærdelig falsk, men i stereo (med fuldstændig kanalskillemulighed) lyder det overraskende nok fuldstændig rent!

Mine elever har i Naturvidenskabeligt Grundforløb udført forsøg med en dobbelt tonegenerator: En forsøgsperson lytter til en tone i den ene kanal, uden at frekvensen er synlig på skærmen. Personen skal derefter indstille frekvensen i den anden kanal til samme tone. Forsøg viser, at de fleste let kan gøre dette inden for 1 Hz, forudsat at der lyttes i mono, og begge toner kommer ind i samme øre. Hvis tonerne kommer ind gennem hvert sit øre, vil der derimod typisk være en afvigelse på 50 Hz (ca. 1/2 tone, når vi er omkring 1100-1300 Hz). Disse forsøg viser, at vores evne til at sammenligne toner hviler på ørets fysik forud for hjernens oversættelse til en bevidsthedsoplevelse.

Gehör versus absolut gehør

Gehör kan man definere som en sikker korttidshukommelse for tonehøjde. For langt de fleste mennesker med gehør, selv for meget musikalske personer, lagres sansningen af tonehøjde ikke i langtidshukommelsen. De få personer, der besidder denne evne, siges at have absolut gehør.

Jeg har haft lejlighed til at udføre forsøg med nogle få personer med absolut gehør. Det viser sig at *akut diplacusis binauralis* kan fremkaldes med samme lethed som hos alle andre. Hjernens reprogrammerbarhed er åbenbart til stede hos alle, og tilstanden er heldigvis reversibel. Det er uklart for mig, men jeg fornemmer, at der er en komplementaritet (i Bohrs forstand) mellem på den ene side det at udøve en aktivitet, der hviler på absolut gehør, og på den anden side den aktivitet beskrevet ovenfor, der fremkalder *akut diplacusis binauralis*.

Jeg mener, det er helt fejlagtigt at sammenkæde den klassiske musiks følelsesmæssige tilknytning til tonearter sammen med absolut gehør, især fordi kamertonen A har svinget fra 392 Hz til 468 Hz (fra G til Bb). Ikke begrundet følelsesmæssigt eller musikalsk, men af hensyn til instrument- eller stemmeklang.

⁵ Disse forsøg skal udføres med frekvenser over 1000 Hz. I modsat fald vil lyden gå gennem kraniet og blive sanset gennem begge ører.

Rene og falske partialtoner

For en given tone med frekvens f vil de såkaldte "rene" overtoner være partialtonerne med frekvenserne $f_n = n \cdot f_1$, hvor $n = 1, 2, 3, \dots$. Når tonen fra et instrument har rene partialtoner, vil det pga. den harmoniske forvrængning være sådan at instrumentets egne partialtoner falder sammen med de partialtoner, som frembringes af ørets egen harmoniske forvrængning (et ufortjent negativt ladet ord til denne prisværdige egenskab).

Nu er $f_n = n \cdot f_1$ ikke nogen naturlov, men tværtimod et ideal, som kun opnås med tilnærmelse. Et instrument, hvis partialtoner afviger væsentligt herfra, vil klinge specielt på grund af interferensen mellem "falske" overtoner og de "rene" multipla, som produceres ved ørets harmoniske forvrængning. Det er et ofte overset faktum, at en lydkildes tonespektrum nemt kan afvige fra det ideelle. Fx vil en svingende streng med inhomogen massefordeling have et afvigende partialtonespektrum. Det er meget nemt at indse med følgende eksempel: For en ellers ideel, svingende streng, der som bekendt adlyder $f_n = n \cdot f_1$, fastgør man en punktformet masse præcis på midten af strengen. Det vil ikke ændre på partialtonerne med lige nummer n , idet der så vil være knude på midten, og den monterede masse deltager ikke i svingningsbevægelsen. Derimod bliver grundtonens frekvens lavere end før, da der er bug på midten, og da en større masse må svinge med lavere frekvens. Tilsvarende gælder for alle andre partialtoner med ulige nummer. Kvaliteten af strenge til guitar, violin mm. hviler blandt andet på, at massefordelingen er homogen. For klaverstrenge er stivheden af strengen så stor, at overtonerne faktisk bliver en anelse lysere end $f_n = n \cdot f_1$. For de dybe strenge kompenseres der ved, at kobberbeviklingen først starter et stykke inde fra begge sider på strengen. (Næste gang du passerer et flygel, så kig på basstrengene). For de lyse toner bliver de høje partialtoner blot en del af den klangfarve, klaverets diskanttoner nu har. Et andet eksempel er den karakteristiske klang, man kender fra et steelband; den skyldes bl. a., at oliestønders partialtonespektrum afviger stærkt fra det rene.

En tones ro og renhed afhænger altså både af grundfrekvensen og dens partialtonespektrum. Den menneskelige stemme fremviser et temmelig rent partialtonespektrum, som let ses ved en FFT analyse med Loggerpro - eller endnu bedre og hurtigere med Realtimeanalyzer Light [6]. Eventuelle afvigelser gør, at man som sanger må intonere forskelligt alt efter om man synger "U" eller "I". Et "U" har kun partialtoner med lave numre, mens et "I" har mange partialtoner med høje numre. Grundtonen er ofte ganske svag. Med FFT kan man fx vise, at den dybeste tone på en bratsch (C) er meget svag. Her er partialtonernes betydning afgørende, idet grundtonen blot sanses som en differenstone mellem partialtoner frembragt i selve øret. I et kor kan man tilsvarende forstærke illusionen om tilstedeværelsen af meget dybe toner ved at lade de lyse stemmer synge de hertil hørende partialtoner.

Hvis man fx synger en tone på 100 Hz i en mobiltelefon, vil modtageren også sanse denne tone, på trods af at ingen toner med frekvenser lavere end 400 Hz kan transmitteres fra sender til udgangshøjttaleren hos modtageren (det er umiddelbart nemt at konstatere ved hjælp af FFT at der næsten ikke er nogen transmission af toner med frekvenser under 400 Hz). Fænomenet er kendt under navnet "Missing Fundamental" (søgeord). Modtagerens øre frembringer altså selv grundtonen på 100 Hz ved harmonisk forvrængning ud fra de transmitterede toner på 400 Hz, 500 Hz, 600 Hz, osv. Forsøget udføres let med brug af to mobiltelefoner, en bærbar PC med FFT og mikrofon og en ældre lektor med dyb stemme. Det er ganske overraskende at høre en dyb stemme, når den laveste frekvens er helt oppe på 400 Hz. Takket været ørets forvrængning kan vi genkende selv dybe stemmer på trods af de meget små højttalere, som er i en mobiltelefon.

Differenstoner i musikken bliver diskuteret i [2]. Til et gymnasiebibliotek/studiecenter kan jeg stærkt anbefale at anskaffe [8] og [9].

Litteratur

- [1] Jens Ulrik Lefmann: Den gode stemning I. Om veltemperering af keyboard, KVANT nr. 4, december 2009
- [2] Jens Ulrik Lefmann: Den gode stemning, høresansens fysik og tonal musikalitet, <http://www.emu.dk/gym/fag/fy/inspiration/forloeb/boelger/dengodestemning.html>
- [3] Das Wohltemperierte Klavier I+II med Zuzana Ruzickova er indspillet på cembalo stemt i Niedhardt temperering fra 1729.
- [4] Animationer af cochlea: <http://www.blackwellpublishing.com/matthews/ear.html>
<http://www.youtube.com/watch?v=dyeMluFaUw>
http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072495855/student_view0/chapter19/animation_effect_of_sound_waves_on_cochlear_structures_quiz_2.html
- [5] Om harmonisk forvrængning i cochlea, <http://jp.physoc.org/content/509/1/277.abstract>.
- [6] Download Realtime Analyzer Light, to-kanal tonegenerator, hurtig realtime FFT analysator, gratis prøveversion: www.ymec.com/products/rale
- [7] Nyttige søgeord på nettet: Cochlea, place theory, harmonic distortion, basilar membrane, missing fundamental
- [8] David J. Benson: Music – A Mathematical Offering, Cambridge University Press 2007.
- [9] Gareth Loy: Musimathics - The mathematical Foundations of Music, Vol. 1+2, MIT Press 2006.



Jens Ulrik Lefmann, der er lektor i matematik og fysik på Birkerød Gymnasium og ekstern lærer i fysik på DTU, har holdt en række foredrag om temperering af keyboard, tonal musikalitet og høresansens fysik bl. a. på DTU, RUC og i UNF. Diverse stemninger demonstreres med musikeksempler på digitalklaver. E-mail: ju@birke-gym.dk.

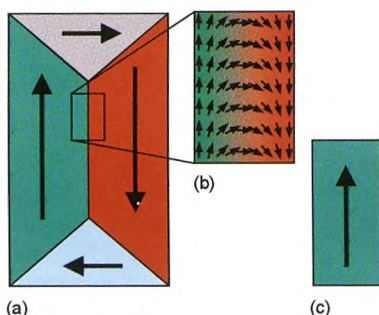
Magnetiske nanopartikler

Af Steen Mørup, Cathrine Frandsen og Mikkel Fougth Hansen, Danmarks Tekniske Universitet

Magnetiske materialer har på adskillige måder spillet en afgørende rolle for udviklingen af vores civilisation. I århundreder var kompasset en vigtig forudsætning for udforskningen af jordkloden, og H.C. Ørstedes opdagelse af elektromagnetismen i 1820 dannede basis for produktion og anvendelse af elektricitet i stor skala. Båndoptageren, der blev opfundet af Valdemar Poulsen i 1900, var det første eksempel på magnetisk datalagring, og hans opfindelse blev essentiel for udviklingen af den moderne computerteknologi, som har ført til fundamentale ændringer af samfundet. Denne udvikling ville være utænkelig uden magnetiske materialer, fordi teknologien er baseret på datalagring i magnetiske nanopartikler, d.v.s. magnetiske partikler med dimensioner på nanometerskala. Magnetiske nanopartikler har desuden anvendelser i adskillige andre former for moderne teknologi, og de spiller også på flere måder en væsentlig rolle i naturen [1].

Magnetisk datalagring og enkeltdomænepartikler

Nanopartiklers magnetiske egenskaber afviger på mange måder fra store krystallers. En magnetisk krystal vil normalt splitte op i et antal magnetiske domæner, d.v.s. områder med forskellig magnetiseringsretning, da dette reducerer den magnetostatiske energi (figur 1a). I en meget lille krystal er domænedannelse derimod ikke favorabel, fordi det vil kræve, at en stor del af de magnetiske atomer indgår i domænegrænser (figur 1b), og det koster energi. Derfor består en partikel under en vis kritisk størrelse af et enkelt domæne (figur 1c). Den kritiske størrelse ligger typisk i området mellem 10 og 1000 nm.

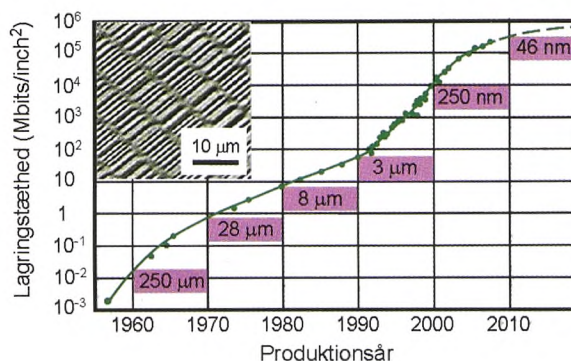


Figur 1. (a) Partikel med 4 magnetiske domæner. Pilene indikerer magnetiseringsretningerne. (b) Domænegrænse, hvor retningen af de magnetiske atomers momenter (små pile) drejer 180°. (c) Enkeltdomænepartikel.

Enkeltdomænepartikler med to foretrukne magnetiseringsretninger anvendes til magnetisk datalagring på en harddisk. En bit, som er den informationsbærende enhed på en harddisk, består typisk af et rektangulært område med adskillige enkeltdomænepartikler. Når partiklerne magnetiseres i et påtrykt magnetfelt under skrivning af data, vil de "huske" deres magnetiseringsretning som binær information "1" eller "0", og man kan senere aflæse den indlæste information. I modsætning hertil vil større partikler spontant splitte op i domæner, når det ydre felt fjernes, og de vil derfor "glemme" den indlæste information.

I årtier har der været et internationalt kapløb mellem store computerfirmaer om at lagre mere og mere in-

formation pr. arealenhed af en harddisk, og informationstætheden er nærmest blevet fordoblet hvert år som illustreret i figur 2. En af de parametre, der er afgørende i denne udvikling, er en reduktion af størrelsen af enkeltdomænepartiklerne. Imidlertid bliver de magnetiske egenskaber igen fundamentalt ændret, når partikelstørrelsen nærmer sig nogle få nanometer (2-20 nm). F.eks. kan magnetiseringsretningen begynde at fluktuere, hvilket gør partiklerne uegnede til datalagring.



Figur 2. Udviklingen af datalagringsstæthed i harddiske siden 1950'erne. Tallene langs kurven angiver med 10 års interval en gennemsnitlig bitstørrelse. Indsat billede (fra www.veeco.com): Magnetisk signal fra en 3,2 Gb harddisk. Bit størrelsen er ca. 0,5 μm × 5 μm. Sort/hvid kontrast viser ændringen i magnetiseringsretning mellem bits.

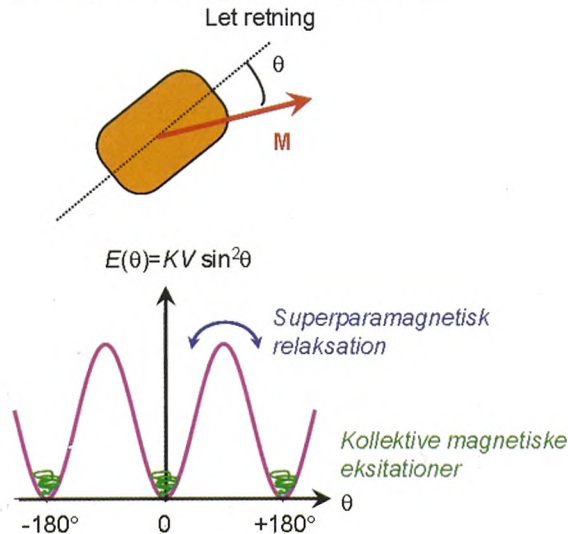
Superparamagnetisme

For at illustrere de magnetiske fluktuationer i nanopartikler kan vi først se på, hvordan den magnetiske energi afhænger af magnetiseringsretningen i en partikel. I simple tilfælde kan man have en magnetisk energi givet ved

$$E(\theta) = KV \sin^2 \theta. \quad (1)$$

Her er K en (materialeafhængig) magnetisk anisotropikonstant, V er partiklens volumen og θ er vinklen mellem magnetiseringsvektoren og en foretrukket magnetiseringsretning (en let retning) som vist i figur 3. For en partikel med magnetisk energi givet ved ligning (1) er der to lette magnetiseringsretninger ved

henholdsvis $\theta = 0^\circ$ og $\theta = 180^\circ$, og de er adskilt af en energibarriere med højden KV (figur 3).



Figur 3. Illustration af den magnetiske anisotropienergi og magnetiske fluktuationer i en nanopartikel. Ved lave temperaturer vil magnetiseringen fluktuere nær en af de lette retninger (kollektive magnetiske eksitationer). Ved højere temperaturer kan den termiske energi $k_B T$ være sammenlignelig med højden KV af energibarrieren mellem de to lette retninger, og magnetiseringen kan spontant skifte fra den ene lette retning til den anden (superparamagnetisk relaksation).

For meget små partikler kan energibarrieren blive sammenlignelig med den termiske energi, og så kan magnetiseringsretningen spontant fluktuere mellem de to lette retninger. Dette kaldes superparamagnetisk relaksation. Relaksationstiden, d.v.s. middeltiden mellem to magnetiseringsvendinger, er givet ved [2]:

$$\tau = \tau_0 \exp\left(\frac{KV}{k_B T}\right). \quad (2)$$

τ_0 er af størrelsesorden $10^{-13} - 10^{-9}$ s, k_B er Boltzmanns konstant ($= 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K) og T er den absolute temperatur. Den magnetiske anisotropikonstant kan typisk have en størrelse mellem 10^3 og 10^6 J/m³.

Glensomme nanomagnet

Som et eksempel kan vi se på partikler med $K = 10^5$ J/m³ og $\tau_0 = 10^{-11}$ s. I en partikel med en diameter på 2 nm, vil relaksationstiden ved stuetemperatur være tæt på 10^{-11} s, mens en partikel med en diameter på 8 nm vil have en relaksationstid på $6,5 \cdot 10^{-9}$ s. Sådanne partikler vil være uanvendelige til datalagring, da enhver skreven information vil være borte næsten øjeblikkeligt. Partikler med en diameter på 16 nm vil derimod ifølge formel (2) have en relaksationstid på $3,1 \cdot 10^{11}$ s og vil derfor kunne "huske" den skrevne information i årtusinder ($1 \text{ år} = 3,2 \cdot 10^7$ s).

De partikler, der i dag anvendes til informationslagring i harddiske, har typisk en størrelse omkring 10 nm, og de er fremstillet af materialer med meget stor magnetisk anisotropi ($K > 5 \cdot 10^5$ J/m³). Partikelstørrelsen er i det kritiske område, hvor partiklerne er små nok til at være enkeltomænepartikler, men

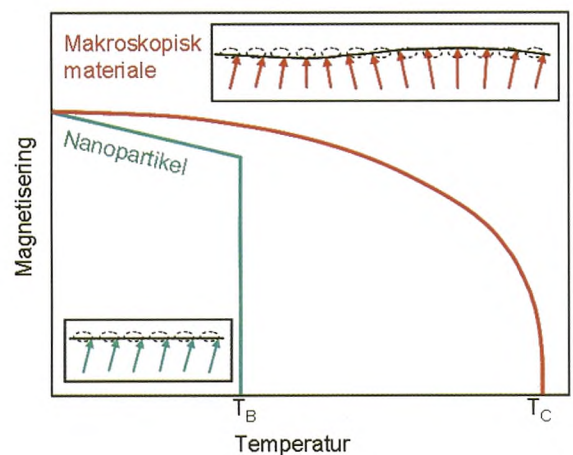
så store, at man kan se bort fra superparamagnetisk relaksation. For at kunne forøge informationstætheden har man ændret lagringsmetoden, således at den magnetiske information skrives vinkelret på diskens plan i stedet for i diskens plan. Ved at lave partiklerne større i tykkelsesretningen af disken kan bits'ene pakkes tættere, samtidig med at volumen af partiklerne i en enkelt bit kan holdes konstant.

Uniforme spinbølger

Nanopartiklers magnetiske egenskaber afviger også på andre måder fra makroskopiske materialers. I en makroskopisk krystal vil magnetiseringen aftage med stigende temperatur på grund af tilstedeværelse af såkaldte spinbølger (magnoner), som er magnetiske eksitationer, hvor de magnetiske momenter af atomerne snurrer rundt omkring en let retning på en måde, så der er en lille vinkel mellem nabospin. Dette er illustreret i figur 4. Disse forstyrrelser af den perfekte orden udbreder sig som bølger med forskellig bølglængde og giver anledning til, at magnetiseringens temperaturafhængighed ved lave temperaturer følger den såkaldte Bloch lov

$$M(T) = M(0)[1 - BT^{3/2}], \quad (3)$$

hvor B er en konstant.



Figur 4. Illustration af spinbølger i makroskopiske krystaller (røde pile) og uniforme eksitationer i nanopartikler (blå pile) samt tilhørende magnetisering som funktion af temperatur (henholdsvis rød og blå kurve). T_B er blokeringstemperaturen, over hvilken nanopartiklerne udviser hurtig superparamagnetisk relaksation. T_C er Curie temperaturen, over hvilken den magnetiske orden i makroskopisk materiale forsvinder.

I nanopartikler er den superparamagnetiske relaksation langsom ved lave temperaturer, men spinbølger med udvalgte bølglængder, der er bestemt af partikelstørrelsen, kan eksistere. Man siger at spinbølgespektret er kvantiseret i nanopartikler, og kun bølger, hvor et helt antal halve bølglængder er lig med partikelstørrelsen, er tilladte. Ved lave temperaturer bliver de magnetiske eksitationer i nanopartikler domineret af en speciel type spinbølger, uniforme eksitationer, der er karakteriseret ved, at hele partiklens magnetiske moment drejer rundt omkring en let retning,

således at alle atomare magnetiske momenter er parallelle (figur 4). De uniforme eksitationer giver anledning til, at magnetiseringens temperaturafhængighed er givet ved

$$M(T) \cong M(0) \left[1 - \frac{k_B T}{2KV} \right]. \quad (4)$$

Denne lineære temperaturafhængighed, som er forskellig fra Blochs lov, er specifik for nanopartikler, og det ses, at jo mindre en partikel er, jo hurtigere bliver magnetiseringen reduceret med stigende temperatur. Disse magnetiske fluktuationer (kollektive magnetiske eksitationer) blev først påvist ved hjælp af Mössbauer spektroskopi i studier af nanopartikler af magnetit (Fe_3O_4) [3] og er senere også studeret med neutronspreddning [4].

Temperaturafhængigheden af magnetiseringen i en nanopartikel, sammenlignet med makroskopisk materiale, er vist skematisk i figur 4. Ved lave temperaturer ses den lineære temperaturafhængighed af magnetiseringen i nanopartikler. Over en kritisk blokeringsstemperatur T_B er den superparamagnetiske relaxsation så hurtig, at den observerede (midlede) magnetisering er nul.

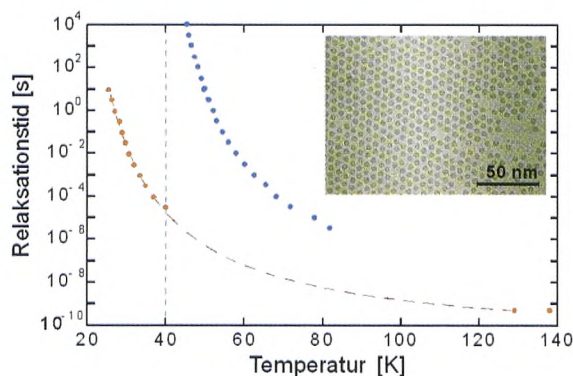
Dipolvekselvirkning

Magnetiske materials egenskaber afhænger af vekselvirkninger mellem magnetiske dipoler. I en krystal er klassisk magnetisk dipolvekselvirkning mellem atomer med magnetisk moment på nogle få Bohr magnetoner (en Bohr magneton = $0,927 \cdot 10^{-23}$ J/T er det magnetiske moment af en elektron) så svag, at den langt fra kan forklare f.eks. jerns magnetiske egenskaber. Den magnetiske orden i faste stoffer skyldes en korttrækkende kvantemekanisk vekselvirkning, som kaldes exchange vekselvirkning.

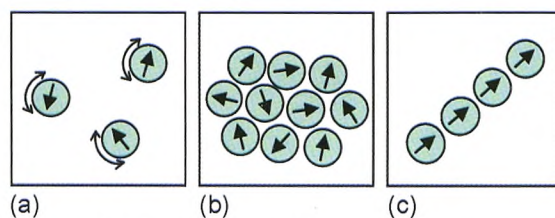
En nanopartikel af f.eks. jernoxid med en diameter på 5-10 nm kan have et magnetisk moment af størrelsesorden 10.000 Bohr magnetoner. Det betyder, at magnetisk dipolvekselvirkning mellem nanopartikler kan være mange gange stærkere end dipolvekselvirkningen mellem enkelte atomer i en krystal, selvom partiklerne er separeret med et par nm, og det kan resultere i magnetisk orden af partiklernes magnetiske momenter selv ved temperaturer over 100 K.

Dipolvekselvirkningen mellem partikler er studeret i bl.a. suspensioner af superparamagnetiske jernkarbidpartikler i olie [5]. I figur 5 er vist et transmissions elektron mikroskopi billede af disse partikler, og grafen i figur 5 viser temperaturafhængigheden af relaxsationstiden i to prøver med forskellig middelfasthed mellem partiklerne. Den mest fortyndede prøve har en relaxsationstid, der divergerer nær ved det absolutte nulpunkt i overensstemmelse med ligning (2). Relaxsationstiden i den mere koncentrerede prøve, hvor dipolvekselvirkningen mellem nanopartiklerne er kraftig, divergerer ved en temperatur på omkring 40 K. Lige under denne temperatur er de isolerede nanopartikler i den fortyndede prøve stadig superparamagnetiske (som illustreret i figur 6a), mens partiklernes

magnetiseringsretninger i den koncentrerede prøve er "frosset fast" i tilfældige retninger på grund af klassisk magnetisk dipolvekselvirkning. I figur 6b er illustreret en sådan "dipol glas". Hvis partiklerne danner kæder, vil dipolvekselvirkningen betyde, at partiklernes magnetiseringsretninger ensrettes i kædens retning som vist i figur 6c.



Figur 5. Den målte relaxsationstid af magnetiske jernkarbidpartikler med ens størrelse og en diameter på 4,7 nm (se indsat elektronmikroskopibillede). De orange punkter er data for en meget fortyndet prøve, mens de blå punkter er data for en koncentreret prøve. Fra [5].



Figur 6. Illustration af vekselvirkende nanopartikler. (a) Isolerede nanopartikler, domineret af superparamagnetisk relaxsation. (b) Nanopartikler der vekselvirker og danner en "dipol glas". (c) Nanopartikler, der danner en kæde med ensrettede dipolmomenter.

Exchange vekselvirkning mellem nanopartikler

Hvis magnetiske nanopartikler er i kontakt, kan den kvantemekaniske exchange vekselvirkning mellem overfladeatomer af nabopartikler være betydelig [6,7]. Der er set eksempler på, at nanopartikler i væske sætter sig sammen som legoklodser, således at både den krystallografiske og den magnetiske struktur fortsætter hen over partikelgrænsefladerne, og det giver anledning til kraftig undertrykkelse af relaxsationen [7]. Dette åbner muligheder for fremstilling af magnetiske nanomaterialer med specielle morfologier og magnetiske egenskaber, som kan have særlige anvendelser.

Teknologiske anvendelser

Magnetiske nanopartikler benyttes, udover anvendelsen til datalagring, også i bl.a. magnetiske væsker, der er stabile suspensioner af magnetiske nanopartikler i f.eks. olie. De blev udviklet af NASA i 1960'erne, fordi man havde behov for at kontrollere væsker i satellitter, hvor der ikke er tyngdekraft. I dag bruges magnetiske væsker bl.a. i diskantehøjttalere, hvor væsken holdes fast af magnetiske kræfter i gabet i højttalermagneten og hjælper til at lede varmen væk fra svingspolen og til at dæmpe uønskede svingninger.

Et andet, meget hurtigt voksende anvendelsesområde af magnetiske nanopartikler er inden for bioteknologi og medicin [8], hvor partiklerne i dag benyttes f.eks. til at give forbedret kontrast i magnetisk resonans (MR) skanning. Desuden er der mange forskningsaktiviteter vedr. anvendelser af nanopartikler til behandling af kræft. Man kan f.eks. binde de molekyler, der anvendes til kemoterapibehandlinger, til overfladen af magnetiske nanopartikler. Ved hjælp af ydre magnetfelter kan de fastholdes i de områder, hvor der er behov for behandlingen. Hermed kan man opnå en koncentreret behandling af det syge væv, uden at resten af patientens væv bliver væsentligt påvirket af medicinen.

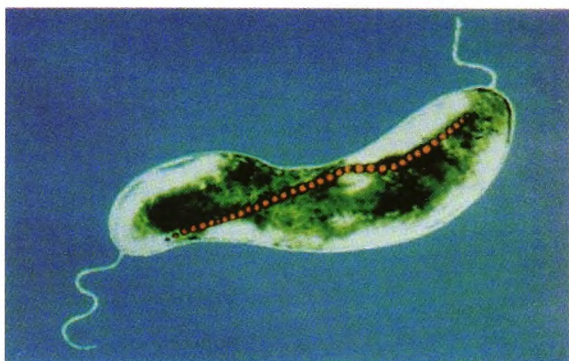
I andre forskningsprojekter arbejdes med injektion af magnetiske nanopartikler i kræftsvulster, og ved at udsætte dem for et højfrekvent elektromagnetisk felt kan man skabe en lokal opvarmning, der dræber de syge celler.

Geomagnetisme

I naturen finder man hyppigt magnetiske partikler af f.eks. magnetit (Fe_3O_4). Nanopartikler af magnetiske mineraler i jordens skorpe fungerer til dels som jordens magnetiske hukommelse. Når en lava afkøles, vil de magnetiske partikler blive magnetiseret i jordens magnetfelts retning, og studier af bjergarter kan derfor give information om ændringer af jordens magnetfelt i fortiden (f.eks. polvendinger) og forskydninger af strukturer i jordoverfladen. Magnetiseringsmålinger på bjergarter har været stærkt medvirkende til at understøtte teorierne for polvendinger og kontinentaldrift.

Naturlige kompasser af nanopartikler

I mange levende organismer spiller magnetiske nanopartikler også en vigtig rolle. Visse bakterier indeholder en kæde af magnetiske nanopartikler [9] (figur 7), hvor partiklerne på grund af dipolvekselvirkning har en fælles magnetiseringsretning som illustreret i figur 6c. Kæden af partikler fungerer som et kompas, der gør det muligt for bakterierne at navigere ved hjælp af jordens magnetfelt. Partiklerne har en diameter på omkring 50 nm, og de er, ligesom de partikler der anvendes til datalagring på en harddisk, så store, at de ikke er superparamagnetiske, men små nok til at være enkelt-domænepartikler.



Figur 7. Elektronmikroskopi-optagelse (med kunstige farver) af en magnetotaktisk bakterie med et indbygget kompas af ca. 50 nm store magnetiske jernoxidpartikler (røde). Reproduceret med tilladelse fra Macmillan Publishers Ltd: Nature 343 (1990) 213, copyright (1990).

Inden for de seneste årtier er man blevet opmærksom på, at også større dyr, som myrer, bier, ørreder, hummere, havskildpadder, brevduer og mange andre har et indbygget magnetisk kompas baseret på magnetiske nanopartikler, som de kan udnytte til at navigere ved hjælp af jordens magnetfelt [10, 11]. Forståelsen af de mekanismer, der danner partiklerne og sætter de levende organismer i stand til at navigere ved hjælp af jordens magnetfelt, er en ny videnskabelig udfordring.

Litteratur

- [1] J.M. Feinberg og R.J. Harrison (Eds) (2009) *Elements* 5 209-246.
- [2] L. Néel (1949) *Ann. Geophys.* 5 99 ; W.F. Brown (1963) *Phys. Rev.* 130 1677.
- [3] S. Mørup og H. Topsøe (1976) *Appl. Phys.* 11 63.
- [4] K. Lefmann, L.T. Kuhn, C. Frandsen og C.R.H. Bahl (2007) *Kvant* 18 (2) 9.
- [5] C. Djurberg, P. Svedlindh, P. Nordblad, M.F. Hansen, F. Bødker og S. Mørup (1997) *Phys. Rev. Lett.* 79, 5154.
- [6] M.F. Hansen, C.B. Koch og S. Mørup (2000) *Phys. Rev. B* 62, 1124.
- [7] C. Frandsen, C.R.H. Bahl, B. Lebech, K. Lefmann, L.T. Kuhn, L. Keller, N.H. Andersen, M. von Zimmermann, E. Johnson, S.N. Klausen og S. Mørup (2005) *Phys. Rev. B* 72, 214406.
- [8] S. Mornet, S. Vasseur, F. Grasset, P. Veverka, G. Goglio, A. Demourgues, J. Portier, E. Pollert og E. Duguët (2006). *Prog. Solid State Chem.* 34, 237.
- [9] R.J.P. Williams (1990). *Nature* 343, 213.
- [10] M.M. Walker, C.E. Diebel og C.R. Green (2000) *J. Appl. Phys.* 87 4653.
- [11] W. Wiltschko og R. Wiltschko (2005) *J. Comp. Physiol. A.* 191, 675.



Steen Mørup er dr. techn. og professor emeritus ved Institut for Fysik, Danmarks Tekniske Universitet. Han har i mange år beskæftiget sig med anvendelse af Mössbauer spektroskopi og andre eksperimentelle teknikker til studier af magnetiske nanopartikler.



Cathrine Frandsen er lektor ved Institut for Fysik, Danmarks Tekniske Universitet. Cathrine har især studeret vekselvirkninger mellem magnetiske nanopartikler ved hjælp af bl.a. Mössbauer spektroskopi og neutronspredning.



Mikkel Fougt Hansen er lektor ved DTU Nanotech. Mikkel har studeret magnetiske nanopartikler i en årrække, men arbejder nu især med anvendelser af magnetisme til sensorer og bioanalyse i lab-on-a-chip systemer.

Bordtennis – breddeopgave 37 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, NSM, RUC

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

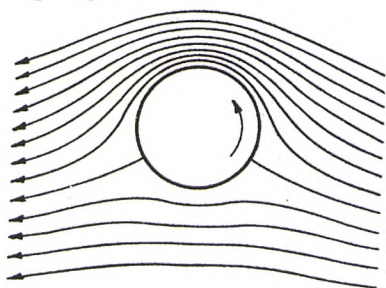
Her bringes løsning og kommentar til opgaven fra forrige nummer samt en ny opgave. Opgaven i sidste nummer af KVANT var denne breddeopgave fra RUC (nr. 37 i rækken her i KVANT):

37. Bordtennis

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

Løsning

På grund af gnidningen imellem overfladen af bordtennisbolden og luften trækker boldens rotation luften med sig rundt i en hvirvelbevægelse. Set fra et ikke roterende koordinatsystem med nulpunkt i bordtennisbolden vil luftstrømningen omkring bolden være summen af hvirvelbevægelsen og strømmingen rundt om bolden, hvis den ikke roterede. Med bordtennisbolden bevægende sig imod højre i forhold til bordtennisbordet vil det sammenlagte strømningsmønster i planen vinkelret på boldens omdrejningsakse iagttaget fra en medfølgende position oven over bolden se nogenlunde ud, som vist på figur 1.



Figur 1. Potentialstrømning omkring roterende cylinder (fra H.H.J., Deformerbare Stoffers Mekanik, side 213).

Kaldes boldens fart v , dens radius r og vinkel-frekvensen i dens rotation ω , vil luftens hastighed i den skitserede stationære strømning være $v + r\omega$ på oversiden af bolden og $v - r\omega$ på undersiden. Ifølge Bernoullis ligning vil der derfor opstå undertryk på oversiden af bolden og overtryk på undersiden af bolden i forhold til lufttrykket langt borte fra bolden, og bolden vil være påvirket af en samlet hydrodynamisk tværkraft opad på figur 1. Trykforskellen, ΔP , mellem oversiden og undersiden af bolden er ifølge Bernoullis ligning:

$$\Delta P = \frac{1}{2}\rho(v + r\omega)^2 - \frac{1}{2}\rho(v - r\omega)^2 = 2\rho vr\omega, \quad (1)$$

idet ρ er luftens massefylde. Derfor er den hydrodynamiske tværkraft, K , størrelsesordensmæssigt givet ved:

$$K \sim r^2 \cdot \Delta P = 2\rho vr^3\omega \quad (2)$$

Ifølge Newtons 2. lov for en jævn cirkelbevægelse er krumningsradius, R , for bordtennisboldens banekurve (opadkrummet imod højre med figur 1's orienteringer) givet ved:

$$K = \frac{mv^2}{R}, \quad (3)$$

hvor m er boldens masse. Sammenholdes ligningerne (2) og (3) fås herefter:

$$R \sim \frac{mv}{\rho r^3\omega} \quad (4)$$

som svar på opgaven. Det ses, at en meget krum banekurve svarende til lille R fås, når v er lille og ω er stor.

Kommentar

Ifølge museet "Teknikens Hus" i Luleå i Sverige er forskerne uenige om forklaringen på den hydrodynamiske tværkraft, som jo også er den, der gør flyvning mulig: Skal den hydrodynamiske tværkraft forklares med henvisning til neddrift af luften bagved flyveren eller ved anvendelse af Bernoullis ligning? Sådan var uenigheden i alle tilfælde præsenteret, da jeg besøgte museet i 2003. Og tilsvarende problematiseringer af naiv anvendelse af Bernoullis ligning er jeg også stødt på i litteraturen.

F.eks. kritiserer Klaus Weltner (KW) i en artikel fra 1987 (K. Weltner, *Am. J. Phys.* 55, 50 (1987).) den udbredte forklaring på opdriften på fly- og fuglevinger i fysiklærebøgerne, at opdriften skyldes den større afstand luften på grund af vingernes form skal bevæge sig langs oversiden af vingerne end langs undersiden. Da luften derfor må bevæge sig hurtigere langs oversiden end langs undersiden, forklares opdriftskraften ved, at luftens tryk da ifølge Bernoullis ligning er mindre på oversiden end på undersiden af vingerne. I denne forklaring byttes der ifølge KW om på årsag og virkning. Man kan ikke konkludere, at luften bevæger sig hurtigere langs oversiden af vingen end langs undersiden, fordi afstanden her er større. Det forudsætter en ubegrundet antagelse om, at luftdele der følges hen imod vingen og bevæger sig hver sin vej rundt om den

vil mødes igen ved bagenden af vingen. Derimod kan undertrykket på oversiden af vinger forklares ud fra krumningen af strømlinierne, som vingeformen fører med sig. Strømliniernes krumning, som det også ses på figur 1, og den dertil hørende nedadrettede centripetalacceleration, må ifølge Newtons 2. lov hænge sammen med et faldende tryk oppe fra og ned imod oversiden. Det lave tryk på oversiden kan så ifølge Bernoullis ligning anvendt langs en strømlinie forklare de større strømningshastigheder langs oversiden. Det er altså ikke den større strømningshastighed, der er årsag til det lave tryk, men det lave tryk, der er årsag til den større strømningshastighed.

I stedet for at benytte Bernoullis ligning til at beregne opdriften på en vinge er det ifølge KW både mere pædagogisk og rigtigere at knytte an til den grundlæggende fysik ved at forklare opdriften som reaktion på, at vingen presser luften nedad bag sig. Impulstilførslen til luften per tidsenhed i nedadgående retning er ifølge Newtons 2. lov lig med vingens kraftpåvirkning af luften nedad og derfor ifølge Newtons 3. lov også lig med størrelsen af opdriftskraften fra luften på vingen. Under antagelse af glat afstrømning fra vingens bagkant lader både opdriftskraftens sammenhæng med graden af skråstilling af vingen og opdriftskraftens proportionalitet med kvadratet på flyets fart sig forstå herved.

Hvad så med den hydrodynamiske tværkraft på den roterende bordtennisbold? Er forskerne også her uenige om, hvordan sagen skal gribes an? Kan Bernoullis ligning anvendes som gjort ved ovenstående løsning af opgaven, eller er det bedre mere grundlæggende at ræsonnere over impulsoverførslen til den forbistrømmende luft?

Den forbistrømmende luft opbremses som følge af bordtennisboldens rotation mere på den ene side af bolden end på den anden. Det fører til en drejning af luftstrømmen og en impulsoverførsel til luften på tværs af boldens bevægelsesretning. Og det forklarer den hydrodynamiske tværkraft kvalitativt. Men det er svært at udbygge dette ræsonnement kvantitativt uden yderligere antagelser.

I min far, Henning Højgaard Jensens bog "Deformerbare Stoffers Mekanik" side 82-85 beregnes den hydrodynamiske tværkraft på en langstrakt roterende cylinder ud fra impulsoverførslen til luften per tidsenhed ved strømmingen vist på figur 1. Strømmingen er som ved opgaveløsningen summen af hvirvelbevægelsen, der ville være, hvis cylinderen alene roterede, og strømmingen omkring cylinderen, der ville være, hvis den alene bevægede sig i forhold til luften uden at rotere. Og det er forudsat, at der er tale om stationære strømninger uden lokale hvirvler (potentialstrømning) bortset fra i et tyndt grænselag ved cylinderens overflade. Disse forudsætninger er de samme, som de der skal til for at retfærdiggøre brugen af Bernoullis ligning som gjort ved opgaveløsningen.

Men forudsætningerne kan anfægtes og bliver det. Og undertiden afvises brugen af Bernoullis ligning, så vidt jeg kan se, med lige så forhastede argumenter som der undertiden har været tale om ved anvendelsen af den. (Se f.eks. A.B. Murphy, *Am.J.Phys.* **57**, 181 (1989)). Efter at have læst noget op på lektien tror jeg, at det største brud på forudsætningerne for ligning (1) i opgaveløsningen hænger sammen med, at bordtennisbolde hverken er langstrakte eller strømlinieformede og det kølvand, der følger af det. Men jeg er ikke ekspert. Så... bum... bum...? Måske findes der blandt KVANTs læsere nogen, der kan kommentere, hvor uenige forskerne er?

I den næste artikel i KVANT vil jeg reflektere over pædagogiske fordele og ulemper ved breddeopgaver på henholdsvis sikker grund og usikker grund, som her.

Breddeopgave 38. Sandflugt

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne opgave fra breddekurset på RUC (fra vintereksamen 2008 nr. 38 i rækken her i KVANT):

Afhængig af kornstørrelsen skal der en vis vindhastighed til at hvirvle støv op i luften. Hvordan er sammenhængen?

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.

KVANT udgives af:

Astronomisk Selskab (AS)
www.astronomisk.dk

Michael Quaade (formand)
Hviddingvej 48
2610 Rødovre
Tlf. 36723634 (privat)
43386947 (arbejde)
mq@spacecenter.dk

Inge Frederiksen
(kasserer og medlemmer)
Tlf. 46756676
inge.frederiksen@mail.dk

Dansk Fysisk Selskab (DFS)
dfs.nbi.dk

Jørgen Schou (formand)
DTU Fotonik, Risø Campus
Danmarks Tekniske Universitet
4000 Roskilde
Tlf. 46774755
josc@fotonik.dtu.dk

Helge Knudsen (kasserer)
hk@phys.au.dk

Dansk Geofysisk Forening (DGF)
www.geofysiskforening.dk

Andreas Lemark (formand)
Is og klima, Niels Bohr Inst.
Tlf. 35320571
alemark@gfy.ku.dk

Henvendelser til:
Bo Vinther (kasserer)
Tlf. 35320518
bo@gfy.ku.dk

Lars Stenseng (web)
Tlf. 35325792
stenseng@space.dtu.dk

Selskabet for Naturlærens Udbredelse (SNU)
www.naturvidenskab.net

Dorte Olesen (formand)
UNI-C, Vermundsgade 5
2100 København Ø
Tlf. 29926300
Dorte.Olesen@uni-c.dk

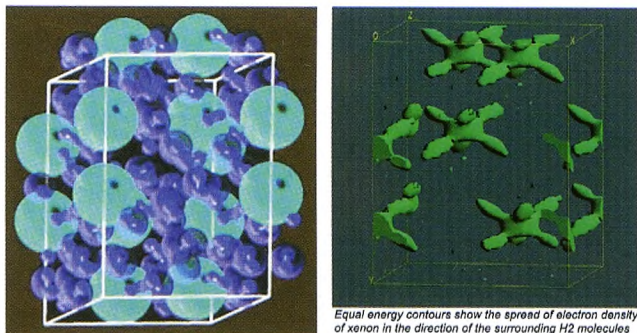
Bente Egaa (sekretær)
Tlf. 35878804
bente.egaa@uni-c.dk

Lene Körner (bogholder)
Tlf. 35320762
koerner@math.ku.dk

Af Sven Munk og John Rosendal Nielsen og Jens Olaf Pepke Pedersen, KVANT

Xenon-brint metallisk under tryk

FASTSTOFFYSIK. Under stort tryk danner xenon og brint en fast struktur med metalliske egenskaber. Xenon tilhører gruppen af ædle gasser, der kemisk er meget tilbageholdende med at indgå forbindelse med andre grundstoffer. Det er et ret sjældent grundstof, der finder anvendelse i lysstofrør og som narkosemiddel, selv om det er dyrt.



Visionen om brug af brintenergi har fået forskere til at lede efter egnede metoder til opbevaring af brint i akkumulatorer. Som led i denne udforskning blev xenon og brint anbragt i en diamant trykcelle. Ved 40.000 bar dannede de to grundstoffer en fast struktur med atomerne i nærkontakt (se billede). Denne struktur kunne presses yderligere sammen ved at øge trykket til 250.000 bar. Dette gav anledning til at strukturen fik metalliske egenskaber.

Kilde: Maddury Somayazulu et al., Pressure-induced bonding and compound formation in xenon-hydrogen solids, *Nature Chemistry*, DOI: 10.1038/nchem.445; <http://www.nature.com/nchem/journal/vaop/ncurrent/abs/nchem.445.html>.

Hvor gammel er en meteor?

ASTROFYSIK. Når forskere bestemmer alderen på en meteor, forventer de samtidig at få noget at vide om Solsystemets – og dets planeters – alder. Bestemmelse af en meteors alder har vist sig at være behæftet med større usikkerhed end hidtil troet. Med en ny målemetode kan man opnå større præcision i aldersbestemmelsen. Med Solsystemets skønnede alder på 4,57 mia. år kan en korrektion på nogle millioner år virke som en petitesse. Den store masseansamling, som foregik da planeterne blev dannet, anses idag for at have taget mindre end 10 mill. år. I det perspektiv bliver en mio. år pludselig af betydning.



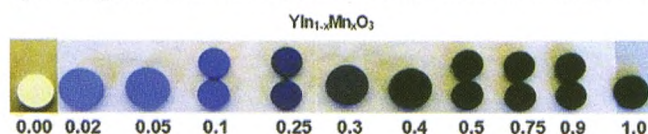
Hidtil har tidsbestemmelsen været baseret på forekomsten af radioaktive isotoper i meteoriter. Forskerne har udvalgt isotoperne U-235 og U-238 og ved analyserne forudsat, at forholdet mellem de to isotoper er det samme i alle meteoriter. Dette var et skøn, fordi man faktisk ikke kunne måle forholdet særlig præcist. Nu er der udviklet en målemetode, som kan sætte mere nøjagtige tal på de virkelige isotopforhold. Man kan således se, at alle meteoriter næppe er dannet samtidig og på samme måde.

Kilde: G. A. Brennecka et al. 238U/235U Variations in Meteorites: Extant 247Cm and Implications for Pb-Pb Dating, *Science Express*, DOI: 10.1126/science.1180871, Hovedforfatteren på Arizona State University.

Blå farve falmer ikke

OVERFLADEFYSIK. Et nyt farvepigment med en klar blå farve er skabt i USA. Det ligner et slumptræf, at forskere fik det lidt banale stof manganoxid forvandlet til noget nærmest strålende blåt. Transformationen til den klare blå farve sker, når manganoxid opvarmes til ca. 1200 °C. Det egentlige tema for det forskningsprojekt, som førte til opdagelsen, er manganoxids elektroniske egenskaber. Dette oplyser prof. Mas Subramanian på Oregon State University.

Anvendelse af mangandioxid til fremstilling af blå farvepigmenter var allerede i brug i det gamle Egypten og i Romerriget. De fleste blå farvepigmenter falmer ved behandling med varme og syre. De alment kendte blå pigmenter "Preussisk blåt" og "Kobolt-blå" frembyder dog en vis risiko for sundheden. Førstnævnte fordi der kan frigøres giftig cyanid og sidstnævnte fordi det anses for kræftfremkaldende.



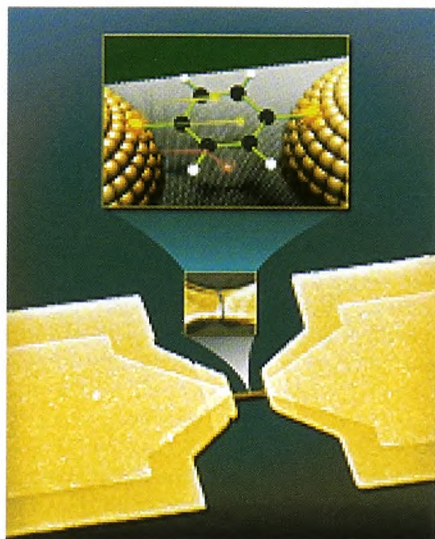
Figuren viser, hvorledes et stof med en struktur, som meget ligner den nys fundne, kan skifte kulør med en varierende stofsammensætning. Fortolker man den præsenterede beskrivelse af den nye, klare blå farve, må den ligne en af dem i billedet. Materialet i billedet har været benyttet som støtte for de teoretiske overvejelser og har kompositionen $Y[In_{1-x}Mn_xO_3]$. Det nye pigment synes at have et stort kommercielt potentiale, fordi det ikke falmer ved stærk opvarmning eller i syrebad. Desuden bedømmes det som sundhedsmæssigt ufarligt og mangan er ikke en begrænset ressource.

En nærmere undersøgelse af dette stofs indre struktur er sket med optiske metoder suppleret med teoretiske beregninger. Da det handler om et mange-elektron system er det ikke muligt at lave eksakte kvantemekaniske beregninger. I stedet blev brugt en tilnærmelesmetode, der kendes under navnet Density Functional Theory. Man finder, at den måde de trivalente Mn-ioner orienterer sig på i krystalstrukturen, skaber en optisk overgang mellem et valensbånd-maksimum og et smalt ledningsbånd-minimum. Dette medfører, at især den røde og grønne del af spektret absorberes.

Kilde: Andrew E. Smith, M. A. Subramanian et al., Mn^{3+} in Trigonal Bipyramidal Coordination: A New Blue Chromophore, *Journal of the American Chemical Society*; <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ja9080666>.

Rigtig transistor med enkelt molekyle

FASTSTOFFYSIK. Et ringformet molekyle (benzen) er via et par svovlbrinte-broer fastgjort til guldelektroder. Denne del virker som kanalen i en felteffekt transistor (FET). En tredje elektrode af aluminiumoxid udgør gaten i denne molekyllære transistor. Ændres spændingen på gaten vil strømmen gennem "kanalen" forandres.



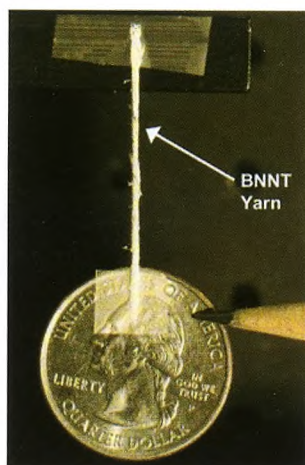
Med en gate-spænding på 0 volt er strømmen ganske forsvindende, medens 3 V kan bringe den op i området mikroampere. Arbejdet, som her beskrevet, er eksperimentelt. Ud af 400 forsøg observerede forskerne transistorvirkning i 35 tilfælde.

Kilde: Song et al. (2009), Observation of molecular orbital gating, *Nature* 462 (7276):1039 DOI: 10.1038/nature08639; <http://dx.doi.org/10.1038/nature08639>.

Garn af Bor-Nitrid

FASTSTOFFYSIK.

Teknikken til fremstilling af nanorør (fibre) af Bor-Nitrid er blevet forbedret. Indtil for kort tid siden var situationen den, at enten kunne man lave gode nanorør med et par vægge, men ret korte eller også kunne rørene blive lange, men med et noget ubestemmeligt tværsnit (betegnet: dårlige). Den forbedrede teknik frembringer gode nanorør af bor-nitrid med længde på 1 mm. Dette er langt nok til, at der kan spindes garn af dem. Billedet viser, hvad man så kan gøre med et stykke garn af Bor Nitrid Nano Tubes (BNNT).



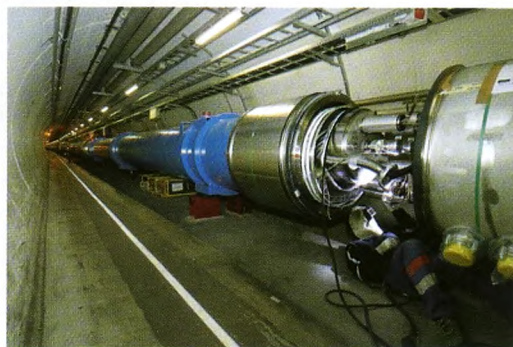
Metoden kan summarisk beskrives sådan: I et kammer fyldt med kvælstof er der anbragt noget bor (halvmetal), der rammes af en laserstråle (1,5 kW). Opvarmingen får bor til at fordampe og herefter fortætte til dråber på en afkølet metaltråd. Dråberne reagerer med kvælstoffet og ved selvorganisering dannes nanorør af bor-nitrid.

Kilde: Nanotechnology, 16. dec. 2009. Flere har deltaget i projektet, bl.a. Jefferson Lab og NASA's Langley Research Center.

Slagplan for LHC

PARTIKELFYSIK. I starten af februar holdt CERN en workshop i Chamonix (Frankrig), hvor acceleratorteknikerne og fysikerne diskuterede og lagde en slagplan for Large Hadron Collider (LHC). Mødet er en tradition fra dengang, da CERN startede en sæson op efter en vinter nedlukning med positron-elektron kollisioner i den tidligere accelerator, LEP.

Der var åbenbart nok at tale om. De første test i slutningen af sidste år har været en stor succes. LHC'en nåede op på halvdelen af den energi, som acceleratoren er designet til – dvs. 7 TeV eller 3,5 TeV for hver protonstråle. Planen for LHC var før mødets afholdelse, at man ville fortsætte med at køre med 7 TeV i 2010 til den normale nedlukning over vinteren 2010-11.



Det er dog blevet klart for forskerne, at LHC ikke er en maskine som man tidligere har været vant til på CERN. LHC'en kræver mange ugers nedkøling til kryogeniske temperaturer, før den kan startes op. Det betyder at nedlukningen og opstarten af LHC'en er både meget tidskrævende og energikrævende. Det er processer, som man ikke er interesseret i at gøre alt for ofte. Derfor er man blevet enige om, at LHC'en skal fortsætte med at fungere ind i 2011, når man starter den op til foråret. Man vil dermed lade LHC'en køre kontinuert til midten af 2011 og der er mulighed for at forlænge dens kørsel hvis man finder det nødvendigt.

Kilde: www.videnskab.dk/content/dk/blogs/big_bang_blog

Varmerekord i januar

KLIMAFYSIK. Det er blevet forår nu efter at vi har oplevet den koldeste vinter herhjemme i 14 år med en gennemsnitstemperatur på 2,0 grader under normalen for perioden 1961-1990. Mange andre europæiske lande har også haft en usædvanligt kold vinter og i Dublin havde man den koldeste januar siden 1963, ligesom Kina blev ramt af hårde kuldebølger. Imidlertid er det ofte således om vinteren, at hvis det er koldt i Danmark, er det mildt på Grønland – og omvendt – og denne gang har Grønland samt store dele af det nordlige Canada har haft en usædvanlig mild vinter. Den sydlige halvkugle har generelt også haft det varmere end normalt, så i gennemsnit har det været en varm vinter!

Hvis man alene ser på januar måned, så var klodens gennemsnitlige temperatur i den nederste del af atmosfæren faktisk 0,72 grader over normalen, og det er den højeste troposfæretemperatur for en januar måned, som er målt i de 32 år, hvor man har satellitmålinger. På selve overfladen målt over oceaner og landjorden var afvigelsen 0,60 grader over det normale, og det er den fjerde varmeste temperatur, som er målt for en januar måned. Det er især havtemperaturerne, som er usædvanligt høje, hvilket til dels skyldes en El Niño begivenhed, som er i gang i Stillehavet og som vil fortsætte hen i dette forår.

Kilde: NOAA, National Climatic Data Center, <http://www.ncdc.noaa.gov> og University of Alabama at Huntsville.

Aktuelle bøger

Af Michael Cramer Andersen, KVANT

Bohrs filosofi

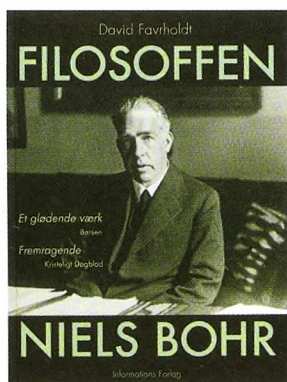
Af: David Favrholt, "Filosoffen Niels Bohr".
Informations Forlag 2009, 459 sider, 399 kr.
<http://www.informationsforlag.dk>.

Niels Bohr er en af de centrale skikkelser i det 20. århundrede og David Favrholt's bog giver en grundig indføring i Bohrs tanker, der har ændret vores forståelse af den fysiske virkelighed. Det er tydeligt fra starten af bogen, at Favrholt betragter Bohr som et geni. Hans første personlige møde med Bohr i 1951 var på et filosofikursus, hvor Bohr diskuterede med de andre ca. 10 elever fra kl. 19 til ved halv

3-tiden om natten. Forfatteren fik det indtryk, at der var en større dybde i problemerne end de store filosoffer gav udtryk for og han besluttede sig for at sætte sig ind i den atomare fysik. Bogen starter med denne anekdote og fortsætter med at fortælle om Bohrs familiebaggrund, uddannelse og oprettelsen af Bohrs Institut for Teoretisk Fysik på Blegdamsvej. På filosofikum udviklede han en form for 'åndelig allergi' overfor filosoffer der serverede endelige svar og løsninger på erkendelsens grundlag og grænser og andre ting. Bohr beskrives som en usædvanlig begavelse, der havde en speciel evne til at koncentrere sig og en ægte nysgerrighed overfor fysik og mennesker generelt. At Bohr skulle være blevet inspireret af filosoffer som f.eks. Kierkegaard og Høffding afvises som det rene spekulation. Bohr var ganske enkelt original. Bohr bliver placeret i superligaen blandt fysikere – foran Einstein. Men han var dog ingen helgen, for Favrholt har ikke meget til overs overfor religion eller 'intellektuelle' i det hele taget som ikke har det mindste forstand på naturvidenskab. Vi må håbe, at de potentielle læsere der er interesseret i filosofi, men ikke har eksamen i fysik, kan tåle fornærmelserne så de kan blive oplyst.

I et indledende kapitel beskrives episoder i fysikkens historie "Fra Antikken til Ørsted". Det virker undertiden lidt fordomsfuldt og handler mest om beskrivelsen af lys. Emnet indledes meget interessant med lidt sproghistorie, lidt om lysets symbolske betydning og de græske naturfilosoffers bidrag, og derefter den velkendte videnskabshistorie med Rømer, Newton, Huygens, Maxwell og Michelson-Morley.

I kapitlet "Bruddet med den klassiske fysik", gennemgås den tidlige kvantefysik og Bohrs atommodel fra 1913. Favrholt vil gerne skelne mellem kvantepostulaterne, som han mener *udgør* Bohrs atomteori, og de modelbetragtninger og forestillinger der i øvrigt fulgte med teorien, f.eks. hvorvidt elektronen bevæger sig i en bane om kernen. Efter opdagelsen af partikel-bølge dualismen måtte modellerne forlades. Men postulaterne, hævder Favrholt, står uantastede af ethvert eksperiment og han er næsten parat til at revidere Poppers falsifikationskriterie i sin loyale tro på Bohrs atomteori. Det er dog ikke helt korrekt hvad der siges i postulatet om, at elektronerne har *bestemt energi*. Ifølge ubestemthedsrelationen med energi og tid, udbredes energien



en smule, hvilket observeres som en naturlig linjebredde. Men selv om nogle af Bohrs fejl overses af forfatteren, er der ingen tvivl om, at det har krævet et særligt mod af Bohr at fremsætte en teori der bryder med en række principper i den klassiske fysik (elektrodynamikken, årsagsprincippet, determinismeprincippet og kontinuitetsprincippet). Det er ingen underdrivelse når Bohr sagde, at man måtte "give afkald på tilvante forestillinger", hvis man ville udvikle kvanteteorien og forstå f.eks. atomernes stabilitet og forholdet mellem stof og stråling. I kapitlet om "Bølge-partikel-dualismen" hører vi meget mere om kvantefysikken, Bohrs korrespondensprincip, to-spalte-eksperimentet og komplementaritet samt hvad der menes med 'Københavnfortolkningen'. Københavnfortolkningen udtrykker at kvantemekanikken er en konsistent teori, at ubestemthedsrelationerne og bølge-partikeldualiteten skal tages for pålydende og at kvantemekanikken er fuldstændig og der er intet alternativ. Det er interessant at læse Favrholt's diskussion af hvilke fysikere og filosoffer der har været henholdsvis tilhængere og modstandere af den. Ifølge Bohr var der slet ikke tale om en fortolkning, men en tydeliggørelse af de konsekvenser for vores beskrivelsessituation, som kvantemekanikken indebærer. Der nævnes flere alternative udlægninger, bl.a. Bohms teori om skjulte variable, der affejes helt, og Everetts mangeverdenfortolkning, der diskuteres – og afvises – i forbindelse med to-spalte-forsøget. Bohrs diskussioner med Einstein behandles også udførligt.

Bogens 2. del handler om "Filosoffen Niels Bohr". Først diskuteres det om man kan antage, at alt i verden er determineret, om der findes et "God's Eye View", hvorfra man kan beskrive hele universet. Det kan man ikke. Undervejs forklarer forfatteren nogle væsentlige idéer i Kants filosofi i alment forståelig form og andre filosofiske problemer som Bohr interesserede sig for. Hovedtrækkene af den indsigt i virkelighedens natur, som Bohr nåede frem til, udgør en kompleks (og kontroversiel) filosofi, som i resumé lyder således:

Der findes et entydigt fundamentalsprog, i alle kulturer, som læres gennem sansning og handling, og som struktureres af virkeligheden (ikke omvendt). Mange filosofiske synspunkter (idealisme, fænomenalisme, materialisme og behaviorisme) må opgives. Fysik bygger på dette deskriptive sprog og gennem præcise iagttagelser og eksperimenter præciserer og forfiner fysikken dagligsprogets begreber. I den klassiske fysik overholdes principperne om kontinuitet, determinisme og anskuelighed i tid og rum. Men pga. naturkonstanter som lyshastigheden, elementarladningen og især virkningskvantet kan man i atomare systemer ikke se bort fra vekselvirkningen mellem det undersøgte objekt og måleapparatet. Det giver ikke mening at tale om f.eks. en elektrons position og impuls uafhængigt af en målesituation. For at give en udtømmende beskrivelse af kvantefysiske eksperimenter, må man etablere komplementære beskrivelser. Forskerens subjektivitet står udenfor målesituationen og man må undertiden give afkald på kontinuitet, determinisme og anskuelighed. Da vi er en del af verden, giver det ikke mening at forsøge "at betragte verden udefra", dvs. al tale om transcends som det kendes fra Platon og Kant er meningsløs. Det er virkeligheden (målesituationerne) der påtvinger os nyttige begreber, ikke vores eventuelt medfødte kategorier der strukturerer virkeligheden. Der er en enhed i

al videnskab, men ikke i form af reduktionisme. Enheden er bestemt af at rationaliteten har et fælles udspring i det entydige beskrivende fundamentalsprog.

Bohrs filosofi er ikke så kontroversiel igen for en fysiker, der har lært kvantemekanikken. Men det må chokere mange filosoffer, at alle de klassiske filosofiske skoler tager fejl, når de prøver at ordne virkeligheden med sprog eller logik eller helt undlader at udtale sig præcist om hvad virkeligheden er. Bohrs pointe er, at det er *virkeligheden der ordner os*, idet eksperimenterne bestemmer hvordan vi kan tale om f.eks. tid, sted, afstand og hastighed.

Det er morsom læsning, når Favrholdt afliver myterne om Bohrs mulige inspirationskilder til hans atommodel. Max Jammer fantaserede f.eks. i en bog fra 1966, at Bohrs idé om kvantespring var inspireret af Kierkegaards 'spring' mellem forskellige livsholdninger. Det rene vrøvl. Bohr var ikke særlig belæst i filosofien og hentede i det væsentlige ikke sin inspiration dér. Favrholdt afviser desuden, med nyt arkivmateriale, en række religiøse og politiske synspunkter som forskellige filosoffer har taget Bohr til indtægt for. Bohr afviste f.eks. et liv efter døden. Igennem hele bogen mærker man forfatterens kærlighed til sin hovedperson. Der er ikke meget kritik af Bohr, selv om han faktisk er så stor at han rigeligt kan tåle kritikken.

MCA

Naturfilosofiens rødder

Af: Aksel Haaning, "Middelalderens naturfilosofi", 3. udgave. Forlaget Vandkunsten 2009, 291 sider, 299 kr. <http://www.akademisk.dk>.

Den måde vi behandler naturen på er påvirket af den måde vi *opfatter* naturen på. Det er derfor interessant, at kaste et blik på hvordan det nuværende og dominerende vestlige naturbegreb, med dens materielle udnyttelse, er blevet til. For at finde kilderne til naturfilosofien skal vi tilbage til Middelalderen. Det dominerende syn på natur og menneske er påvirket af Platon og kristendommen, der begge taler om en skaber, der har udtænkt naturen og mennesket før det blev skabt, dvs. med en gud der er hævet over natur og menneske.

Kristendommen placerer ydermere mennesket som herre over dyr og natur. Med både kristendommen og senere Descartes, sættes der også skel mellem menneskets fysiske og mentale liv: Mennesket splittes i krop og sjæl (eller ånd). I dag er der et voksende behov for, at menneskets forhold til naturen bliver beriget, hvilket bl.a. efterspørgslen af økologiske produkter er et udtryk for.

Middelalderen opfattes ofte som en slags pause mellem Antikken og Renæssancen uden væsentlige bidrag til naturbeskrivelsen. De tidlige kirkefædre (før år 500) anså de naturvidenskabelige discipliner som 'tom nysgerrighed', idet "denne verden" ikke kan måle sig med "den næste". Studiet af naturen trådte i baggrunden. Selv om Bibelen er den store autoritet, er der andre kilder til viden. Aristoteles' verdensbillede har en opdeling mellem det jordiske og det himmelske og denne opdeling autoriseres af Kirken. Man anså desuden naturen som en "Naturens Bog", skrevet med Guds finger, som kilde til erkendelse – også af religiøse sandheder. Det er i denne tradition at f.eks. Galilei senere studerer Naturens Bog, skrevet i matematikkens sprog. Omkring år 1200 genopstår den antikke opfattelse af naturen som en *skikkelse*, en personificering af naturen, dvs. naturen har en åndelig dimension (en lignende opfattelse kendes hos

mange naturfolk og senere fra romantikken). Selv om det ofte var svært at forene disse og andre strømninger med det kristne gudsbegreb, der er hævet over naturen, udvikledes i Middelalderen en omfattende naturfilosofi som begrunder naturvidenskabens nødvendighed og hvor både hedenske og ikke-kristne elementer spiller en afgørende rolle.

Der udvikles en tradition for at beskrive den "kosmiske orden", dvs. hvordan skaberen har udtænkt, har evne til at skabe og har skabt verden, suverænt adskilt fra sit værk. Mens de kristne teologer opbyggede luftkasteller, kraftigt inspireret af Platons idélære, var der en parallel strømning med en på en måde mere jordnær filosofi: Hermetismen som er tæt knyttet til alkymismen. Hermetismen er inspireret af en ægyptisk tradition, hvor det himmelske og det jordiske *ikke* er forskelligt, men er *gjort af samme stof* og *styres af de samme drivkræfter og principper*. Man fornemmer her en meget kraftig inspiration til udviklingen af den moderne naturvidenskab. Tycho Brahe var tydeligt inspireret af dette og både Galilei og Newton arbejdede ud fra en sådan opfattelse. Men hermetismen hævder desuden, at kosmos er en levende organisme, besjælet med en verdenssjæl, en mægtig guddom der manifesterer sig gennem det synlige stof og folder sig ud med verdens mangfoldighed. Verden er ikke skabt som i kristendommen, af en gud der er adskilt fra naturen, men folder sig ud gennem naturens egen ordensprincip, som ofte kaldes 'naturens lys'. Der er ikke tale om en egentlig skabelsesproces, idet guddommen nødvendigvis må udfolde sig og sprede visdommens lys i kosmos. Mennesket rummer også naturens lys, idet legemet er en del af naturen. Det legemlige og det mentale er integreret. Modstillingen mellem religion og videnskab er opløst. Dette naturbegreb var svært at forene med den kristne teologis begreber og blev derfor ofte opfattet som en kættersk naturfilosofi.

Alt dette og meget mere kan man læse om allerede i bogens indledning, og man kan derefter dykke ned i en række kapitler der bl.a. beskriver kirkefædrenes indstilling til naturen, digtere og filosoffer der beskriver naturen med en verdenssjæl (der bl.a. identificeres med Helligånden) eller naturen som en gudinde med moral. Vi hører om stofbegrebet og om Hildegard af Bingen, der beskriver mystikkens og visdommens væsen og om hvordan man i alkymien læste naturens bog. Bogen påviser også den religiøse dimension i vestlig naturvidenskab og den giver indblik i hidtil oversete forestillinger om naturen – og menneskets relation til naturen, som er både fascinerende og vedkommende i dag. Bogen kan varmt anbefales, hvis man vil vide mere om hvordan frøene til renæssancens naturvidenskabelige revolution blev sået allerede i 1200-1300-tallet, hvor den naturvidenskabelige tænkning foregik indenfor en teologisk ramme og desuden var tæt sammenvævet med kunst og poesi.

Modtagne bøger:

MCA

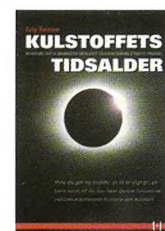
Arternes oprindelse nyoversat

Af: Charles Darwin, "Arternes oprindelse ved naturlig selektion", 1. udgave oversat af Jørn Madsen. Statens Naturhistoriske Museum, Københavns Universitet 2009, 388 sider. <http://www.snm.ku.dk>.



Historien om kulstof

Af: Eric Roston, "Kulstoffets tidsalder – hvordan livets grundstof er blevet civilisationens største trussel", Haase og Søns Forlag 2009, 320 sider, 299 kr. <http://www.haase.dk>.



Jupiters store røde plet gløder

Solsystemets største planet, Jupiter, er kendt for sine gigantiske hvirvelstorme. Den store røde plet på Jupiter er en af disse storme, der er næsten tre gange større end Jorden og har eksisteret mindst lige så længe, som vi har kunnet observere Jupiter igennem teleskoper – altså i mindst 400 år.

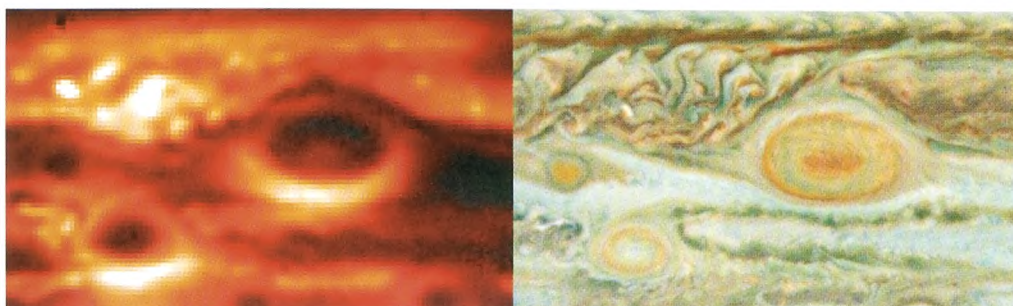
Observationer har afsløret at der er en sammenhæng mellem temperaturen af den store røde plet og dens farve. Optagelserne er foretaget i infrarødt lys (vist til venstre) og i synligt lys (til højre). Det infrarøde billede er optaget med det europæiske Very Large Telescope i Chile, mens billedet i synlige lys er optaget med Hubble Rumteleskopet. Billederne blev taget i maj 2008.

De infrarøde observationer har afsløret, at de områder af storme, hvor farven er kraftigst orangerød (på billedet med synlige lys), er temperaturen 3-4 grader højere end omgivelserne. Denne

temperaturforskel er ikke stor, men den kan ifølge forskerne forklare ændringer i stormens cirkulation. Normalt vil cirkulationen af stormen være imod uret, men til tider vil cirkulationen ændres til at gå svagt med uret inde midt i stormen. Derudover har man fundet andre dele af Jupiter, hvor temperaturændringer har været tilstrækkelige til at ændre vindhastigheder og derved influere på skymønstret.

Astronomerne ved stadigvæk ikke præcist, hvordan den store røde plet får sin røde farve. Man formoder at stormen løfter materiale op fra dybereliggende lag i atmosfæren. Når materialet kommer op til den øverste del af atmosfæren, kan det påvirkes af Solens ultraviolette lys, så den røde farve dannes ved en ukendt fotokemisk proces.

Kilder: www.tycho.dk/article/view/5837/;
www.eso.org/public/news/eso1010/.



Jupiters store røde plet optaget i infrarødt lys med VLT (til venstre) og i synligt lys med Hubble Rumteleskopet (til højre). ESO/NASA.