

KVANT

Juli
2008 2

Tidsskrift for Fysik og Astronomi 19. årgang

TRE TEMAARTIKLER OM LAVTEMPERATURFYSIK:

- 100 ÅR MED FLYDENDE HELIUM
- BOSE-EINSTEIN-KONDENSATION I ATOMARE GASSER
- FAST BRINT – UNIVERSETS MÆRKELIGSTE STOF

HERUDOVER:

- VANDRENSNING MED AQUAPORINER
- PHOENIX ER LANDET PÅ MARS
- FORSKERNES RAPPORTERING
- STJERNEHIMLEN
- AKTUELLE BØGER
- 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 Naturlærers Udbredelse,

Redaktion

Michael Cramer Andersen (ansv. red.)
Christianshavns Gymnasium
Camilla Bacher Kiming (AS)
Mærsk Olie & Gas
Jørn Johs. Christiansen (SNU)
Torsten Freltoft, Sophion Bioscience A/S
Thomas R. N. Jansson (webredaktør)
Mogens Esrom Larsen,
Matematisk Institut, KU
Sven Munk (nyhedsredaktør)
John Rosendal Nielsen (nyhedsredaktør)
Aurehøj Gymnasium
Jens Olaf Pepke Pedersen,
Danmarks Rumcenter, DTU
Finn Berg Rasmussen, Ørsted Lab, KU
Svend E. Rugh

Abonnementspris : 165 kr/år.

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

Annoncepriser

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

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

Oplag: 2500. Tryk: Brunder Tryk ApS, Brønderslev. ISSN 0905-8893

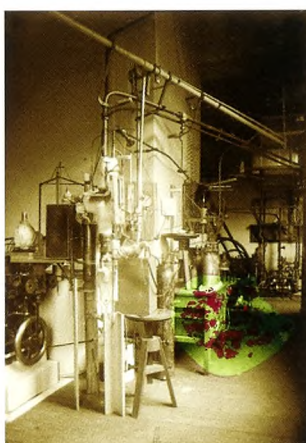


Produktionsplan

Nr. 3-08 udkommer ca. 15. september
Nr. 4-08 udkommer ca. 15. december
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

100 år med flydende helium <i>Finn Berg Rasmussen</i>	3
Annonce	9
KVANT-nyheder <i>John Rosendal Nielsen og Sven Munk</i>	10
Phoenix er landet på Mars <i>John Rosendal Nielsen</i>	14
Foreningsnyt – foredrag i efteråret	16
Aktuelle bøger	17
Stjernehimlen <i>Michael Cramer Andersen</i>	18
Bose Einstein Kondensation i atomare gasser – Når atomer bliver til kvantebølger <i>Kasper T. Therkildsen og Jan W. Thomsen</i>	20
Fast brint – Universets mærkeligste stof <i>Jørgen Schou</i>	24
KVANTE-stigen	26
Vandrensning med aquaporiner <i>Claus Hélix Nielsen</i>	27
Springflod – breddeopgave 31 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	32
Forskernes rapportering <i>Sven Munk</i>	34
En sandstorm set fra rummet <i>John Rosendal Nielsen</i>	Bagsiden



Billedet på forsiden: Ved Leidens Universitet brugte Heike Kamerlingh Onnes i 1908 dette udstyr til for første gang at fortætte helium. Kilde: Archive of the Leiden Institute of Physics. Se artiklen "100 år med flydende helium" af Finn Berg Rasmussen, på side 3.

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

100 år med flydende helium

Af Finn Berg Rasmussen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

Hovedpunkter af lavtemperaturfysikkens historie gennemgås, med særlig vægt på den første begyndelse og på de eksperimentelle sider.

Indledning

Den 10. juli 1908 kan med god grund udnævnes til lavtemperaturfysikkens fødselsdag: det var på denne dag, at den sidste af de "permanente gasser" blev fortættet. Vi fik dermed adgang til et temperaturområde med helt ny fysik: superledning og superfluiditet. Efter opdagelsen af den kosmiske baggrundsstråling er det ydermere klart, at det var på denne dag, at mennesket for første gang passerede Universets laveste temperatur, 2,7 K.

Første bedrift i Leiden: fortætningen af helium

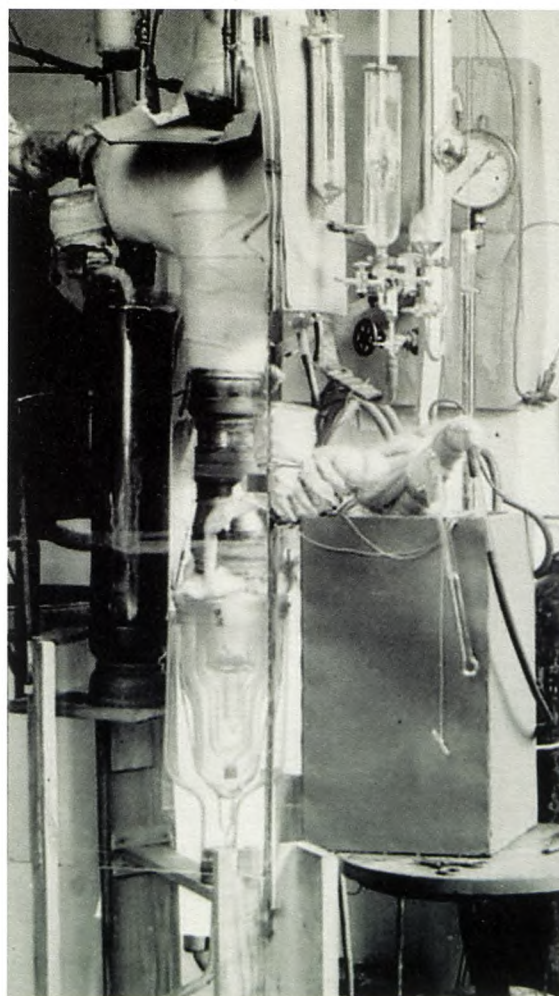
Da Heike Kamerlingh Onnes kl. 5 om morgenen den 10. juli 1908 tog ind til sit laboratorium, kunne han ikke med sikkerhed vide, at et tiårs systematiske forberedelser nu skulle bære frugt, men alt var klar: i dagene forud var opbygget et forråd på 75 l flydende luft, alt apparatur var pumpet ud, og gasbeholdningerne af brint og helium var omhyggeligt rensat. Næste skridt var at fortætte en tilstrækkelig mængde flydende brint, og ca. 13:30 stod der 20 l. Nu blev helium-delen af apparatet forkølet, og tre timer senere begyndte komprimering og cirkulering af heliumgas.



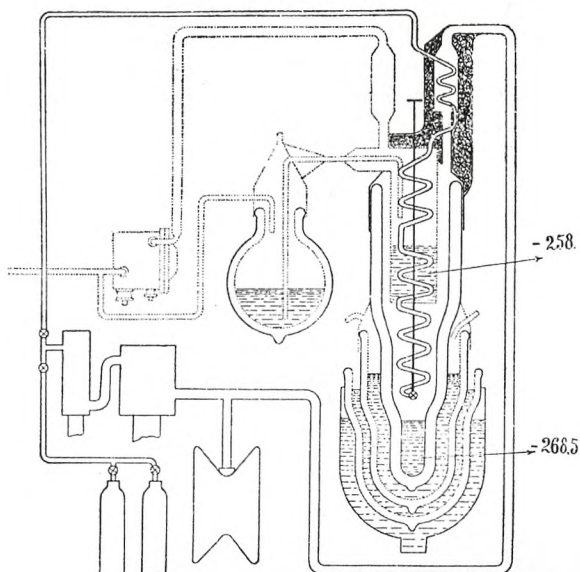
Figur 1. Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), leder af Leiden-laboratoriet gennem 40 år, var den første til at fortætte helium.

Hos Kamerlingh Onnes blev både luft, brint og helium afkølet (og fortættet) ved hjælp af Joule-Thomson køling. I denne proces lader man gassen ekspandere frit igennem en dyse eller en porøs prop. For en ideal

gas vil en sådan ekspansion ikke medføre nogen temperaturændring, men for reelle gasser kan temperaturen falde, hvis man begynder ved en temperatur, der er lavere end *inversionstemperaturen* (for helium ca. 23 K). Den afkølede gas føres tilbage således, at den kan køle den indkommende gas, og på den måde falder temperaturen lidt efter lidt, indtil gassen (måske) fortættes. Hvis helium skal afkøles (og fortættes) gennem Joule-Thomson processen, skal det derfor forkøles til en temperatur et stykke under 23 K, jo mere jo bedre. Brints kogepunkt er 20 K, men ved at lade brinten koge ved lavere tryk kan man sænke dens temperatur, indtil tripelpunktet nås ved 14 K, hvor brinten størkner (figur 2 og 3)



Figur 2. Verdens første heliumkryostat (udsnit af forsidebilledet). Yderst et glas med alkohol (forebygger dugdannelse), derefter: vakuum mellem to glasvægge, flydende luft, vakuum, flydende brint, vakuum, flydende helium.



Figur 3. Verdens første heliumkryostat skematisk. Yderst et glas med alkohol (forebygger dugdannelse), derefter: vakuum mellem to glasvægge, flydende luft, vakuum, flydende brint, vakuum, flydende helium. Pilen til -258 peger fra flydende brint ved 15 K.

I Kamerlingh Onnes laboratorium fulgte de temperaturen med et heliumgasthermometer og en elektrisk sensor, og gennem nogle timer faldt temperaturen lidt, fladede ud og faldt igen. Kl. 18:30 var man under temperaturen af den flydende brint, men der var intet at se i heliumreservoiret inderst i apparaturet. En time senere stod termometeret bomstille, omkring 4 K. En kollega kiggede ind for at se, hvordan det gik, og konstaterede at det jo var som om termometeret stod i en kogende væske. Den bemærkning fik Kamerlingh Onnes til at kigge nøjere ind i kryostaten. Med lys faldende ind skråt nedefra sås tydeligt refleksen fra en væskeoverflade. "Da overfladen først var set, tabte vi den ikke mere af syne". Beholdningen af flydende brint var næsten opbrugt på dette tidspunkt, så helium-kondenseringen måtte standses, og væsken stod nu roligt og fordampede (kogte!). Da der efter en times tid var 10 ml tilbage, blev trykket og dermed temperaturen reduceret for at se, om helium – ligesom alle andre væsker – ville blive fast, når man således pumpede sig ned til tripelpunktet. Et tryk på ca. 10 mbar blev nået, dvs. en temperatur under 2 K, men resultatet var negativt. Vi ved nu, at helium først kan gøres fast ved tryk på over 25 bar.

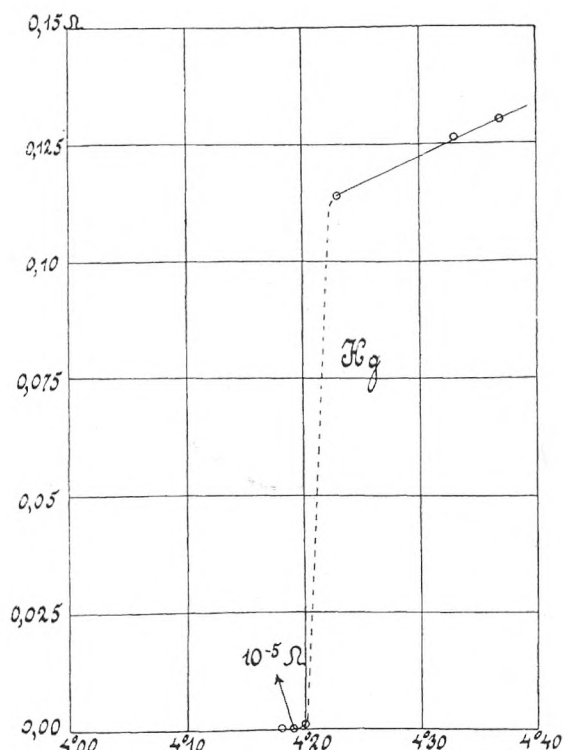
Kamerlingh Onnes var tiltrådt som professor i eksperimentel fysik og meteorologi ved universitetet i Leiden i 1882. I sin tiltrædelsesforelæsningsformuleringer havde han mottoet "door meten tot weten", "gennem måling til viden". Van der Waals havde kort tid forinden formuleret sin modifikation af idealgasligningen, og Onnes begyndte omfattende eksperimentelle studier af gassers egenskaber ved lave temperaturer, hvor afvigelserne fra idealgasopførsel er størst. Brint blev første gang fortættet i 1898, af J. Dewar, opfinderen af dewarkarret (den vakuumisolerede glas-termoflaske). Helium var opdaget i solspektret i 1868, men blev

først påvist på Jorden i 1895, af W. Ramsay. Helium på Jorden kommer fra alpha-radioaktive stoffer. Onnes fik sit første helium fra en ladning thorium-holdigt sand fra North Carolina. Kemikere i Leiden arbejdede i månedsvis for at udskille heliumgassen. Ved den første fordråbning af helium var der 200 l gas til rådighed, og heraf blev over en femtedel fortættet. Som følge af knapheden på helium var Leiden alene om at kunne bruge flydende helium i de første 15 år.

Fortætningen af brint og af helium var ganske naturligt genstand for et kapløb mellem Onnes i Leiden og Dewar i London. Mange interessante detaljer kan findes i ref. [2].

Appelsinen i turbanen: superledning

Efter opdagelsen af elektronen blev metallernes ledningsevne et særlig interessant emne. I Leiden kunne man efter 1908 studere den elektriske modstand til hidtil uhørt lave temperaturer, og i overensstemmelse med laboratoriets motto søgte man at etablere empiriske formler for temperaturafhængigheden. Efter guld og platin tog de fat på kviksølv, og i efteråret 1911 viste det sig, at kviksølvs modstand faldt til en umåleligt lille værdi indenfor et temperaturinterval på højst 20 mK lige omkring heliums kogepunkt 4,2 K (figur 4). Det er helt velgørende at se, hvor forsigtigt og omhyggeligt denne store (set med vores bagkloge øjne) opdagelse bliver beskrevet. Mange fejlkilder og mulige teoretiske forklaringer bliver forsøgt [3].



Figur 4. Fast kviksølvs elektriske modstand omkring 4,2 K, målt i 1911. Springet i modstand er målt til mindst en faktor 10^4 . Modstanden stiger ca. en faktor 500 fra 4,22 K til smeltepunktet 234 K.

I forsøg på at måle den forsvindende lille modstand blev der sendt høje strømstyrker gennem kviksølvet, hvorved det hurtigt blev opdaget, at der er en tærskelværdi for strøm (*den kritiske strøm*), over hvilken den superledende tilstand forsvinder, og den normaltledende tilstand vender tilbage. Først efter halvdandet år dukker ordet superconductivity op, og kort efter bliver fænomenet også set i tin og bly. Det bliver angivet, at modstanden aftager med en faktor på mindst 10^{10} i forhold til modstanden ved stuetemperatur. Eksistensen af et *kritisk magnetfelt* bliver påvist. For disse superledere er det kritiske felt for svagt til, at superledende magnetpoler kunne være til gavn på den tid, men der blev eksperimenteret med vedvarende strømme i kortsluttede superledende spoler.

Grundvidenskabeligt set åbnede opdagelsen af superledning en helt ny verden. Der skulle gå næsten et halvt århundrede, før en tilfredsstillende kvantemekanisk teori blev fremsat (Bardeen-Cooper-Schrieffer- eller BCS-teorien, 1957). Se fx [4]. Her blev det klart, at ledningselektronerne i en superleder danner en fælles kvantetilstand, et Bose-Einstein-kondensat [5], der strækker sig gennem hele det superledende materiale. I en superledende ring vil bølgefunktionen således være underkastet en kvantiseringsbetingelse med den virkning, at kun bestemte strømme vil være tilladt. De strømbærende partiklers ladning indgår i kvantiseringsbetingelsen, og det viser sig, at elektronerne optræder i par ("Cooper-par") med ladningen $2e$, hvor e betegner ladningen på en enkelt elektron.

Det er et ret simpelt forsøg at fange en vedvarende strøm i en superledende blyring af fx 5 cm diameter. I denne sammenhæng kan ringen - eller i hvert fald elektronerne i den - betragtes som ét stort atom, selv om den altså er en genstand, som kan ses med det blotte øje. Hvis elektronerne i en superleder kan gå to forskellige veje og mødes igen, vil der opstå interferens, hvilket kan udnyttes til konstruktion af meget følsomme detektorer, kvanteinterferometre, for magnetfelt og dermed for strøm.

Anvendelsesmæssigt begyndte det store gennembrud også omkring 1960. På den tid blev der opdaget en række metallegeringer med høje overgangstemperaturer og meget høje kritiske felter. Et eksempel er Nb_3Sn , der bliver superledende ved 18,3 K og har et kritisk felt på 19 tesla. Det har vist sig muligt at fremstille kilometervis af superledende tråd i disse materialer og at vikle magnetpoler til sådanne høje felter, ofte med en særlig feltprofil, specielt meget homogene felter. Magnetene er meget brugt til grundforskning i fysik og kemi, fra små enkeltmandsforsøg over NMR-spektrometre (NMR = kernemagnetisk resonans, Nuclear Magnetic Resonance) til afbøjningsmagnetene i LHC ved CERN-forskningscenteret. NMR-spektrometre spiller også en stor rolle i industriel forskning. NMR-teknikken har kunnet udvikles til billeddannelse og dermed er de superledende magneter stormet frem i den medicinske verden, hvor de trækker læsset i de såkaldte MR-scannere.

Det sidste store kapitel i superledningens historie begyndte i 1986, da Bednorz og Müller [6] påviste superledning ved ca. 30 K i et cuprat af lanthan og enten barium, strontium eller calcium. Den hidtidige rekord lå ellers omkring 23 K, og det var teoretisk bevist, at 30 K var den absolut øverste grænse for superledning (med den mekanisme, som man regnede med på det tidspunkt). Få uger inde i 1987 var der fundet andre cuprater med langt højere overgangstemperaturer, fx 98 K for $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{4+\delta}$, populært kaldet YBCO. YBCO kan holdes superledende med det billige flydende nitrogen, hvis kogepunkt er 77 K. Der er siden fundet forbindelser med overgangstemperaturer i nærheden af 150 K, men fælles for dem alle er, at de er keramiske materialer, og det er derfor en stor udfordring at fremstille tråd af dem. En kendt dansk fysiker kom for skade at sammenligne opdagelsen med opfindelsen af hjulet, men nu, 20 år efter, har vi stadig en overbevisende teknisk anvendelse til gode.

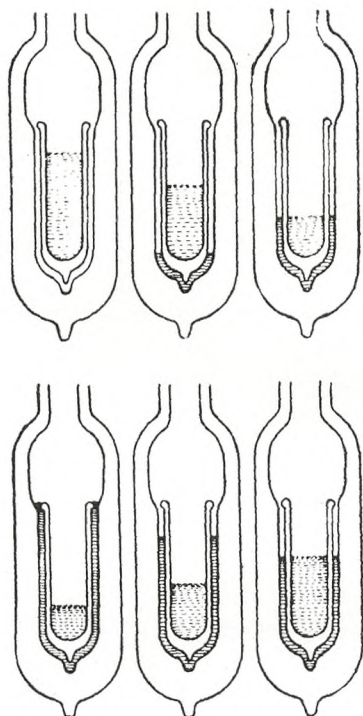
Superfluiditet

Henimod slutningen af 1930'erne blev det klart, at når man afkølede flydende helium under sit eget damptryk, gik det over i en ny tilstand ved temperaturen 2,17 K. Nu taler vi om den superflydende tilstand eller fase; dengang brugtes den mere forsigtige betegnelse He II, hvor He I så betegnede den normaltflydende tilstand. Lige ved overgangstemperaturen divergerer varmekapaciteten; kurven minder om det græske bogstav λ , hvorfor denne temperatur kaldes "lambda-punktet", T_λ .

Den superflydende væske kan flyde gennem snævre kanaler uden gnidningsmodstand (op til en vis kritisk hastighed), og den reagerer meget specielt på temperaturforskelle, fx som om dens varmeledningsevne er uendelig stor (igen til en grænse). Lettest at beskrive og måske mest aparte er fænomenet *film flow*. I figur 5 øverste række ses et glas, der er fyldt med superflydende helium. Væsken flyder i en tynd film op over kanten og drypper fra bunden ned i den ydre beholder, indtil væsken står i samme højde i de to beholdere. Omvendt flyder væsken fra den ydre beholder til den indre, hvis niveauet i den ydre er højest. Der er ikke noget specielt ved, at en overflade i kontakt med en væske dækkes af en film (prøv bare at vippe lidt med en kop te!), men heliumfilmen er særligt tyk, og desuden er strømningsmodstanden nul.

Figur 5 viser resultatet af film flow, men for Kamerlingh Onnes, som viste figuren i et foredrag i 1922 [7], illustrerede den et mislykket forsøg på at gøre helium fast. Den viste anordning var helt omgivet af flydende helium ved 4,2 K, og ideen var at nå den lavest mulige temperatur under kogning ved lavt tryk i den inderste beholder, som er isoleret fra 4,2 K af en dobbelt vakuuminisolering. Den inderste beholder var forsynet med en omrører i form af en lille vandret skive, der ville kunne vise, om væsken var blevet fast; men som også blev brugt som en ske til at øse væske til den ydre beholder. Kamerlingh Onnes formodede, at der foregik en destillationsproces, men processen forløb

for hurtigt, så han erklærede, at videre undersøgelser var nødvendige.



Figur 5. "Film flow". Øverste række: inderbeholderen er først næsten fuld af superflydende helium og yderbeholderen er tom; væsken flyder op over kanten i en tynd film, og efter få minutter er der samme væskestand i yder- og inderbeholder. Nederst: væsken fra inderbeholderen er øst ud (med en lille ske); niveauerne udlignes igen (Kamerlingh Onnes 1922).

Med superfluiditet står vi igen overfor et makroskopisk kvantefænomen, blandt andet med den konsekvens, at der optræder kvantiserede hvirvler [5], når væsken roterer. Iøvrigt skyldes det også en kvantemekanisk effekt, at helium under sit eget damptryk som den eneste væske forbliver flydende til de laveste temperaturer: hvis man prøver at spærre et atom inde i et mindre volumen, stiger dets kinetiske energi (kan beregnes af Heisenbergs usikkerhedsrelation), og konkurrencen mellem denne *nulpunktsenergi* og tiltrækningen mellem atomerne bliver for heliums vedkommende vundet af den kinetiske energi.

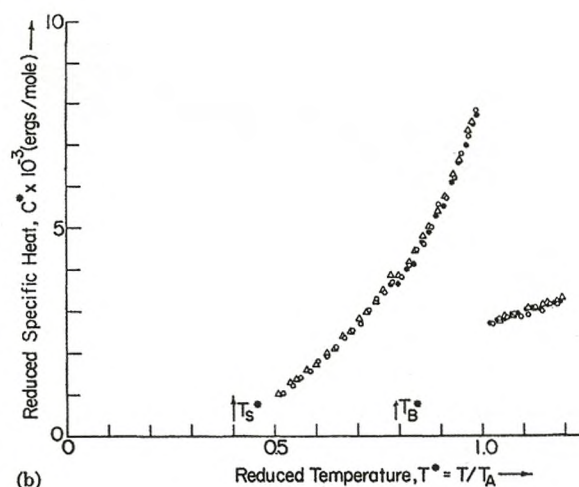
Helium-3

Den lette heliumisotop ^3He blev tilgængelig i 1950'erne. Den fremkommer ved henfald af tritium, ^3H (halveringstid ca. 12 år), som bliver fremstillet ved neutronbombardement af lithium med henblik på anvendelse i brintbomber. Anskaffelsesprisen er høj, men man kan arbejde med små mængder og genbruge gassen. Som følge af ^3He -atomets mindre masse sammenlignet med ^4He er damptrykket højere, og det er let at pumpe flydende ^3He ned til en temperatur på 0,3 K (med ^4He er selv 1 K vanskelig at nå). En endnu mere effektiv køleproces er at opløse ^3He i ^4He , se fx

[8]. Med den metode kan man kontinuerligt opretholde temperaturer ned til nogle få millikelvin.

Hvis man vil gøre ^3He fast, kræver det endnu højere tryk end for ^4He , men det er mere interessant at se på de forskelle, der skyldes, at ^3He -atomet er en fermion, medens ^4He -atomet er en boson. I flydende ^3He findes der ikke overgang til superfluiditet ved en temperatur, der kan sammenlignes med T_λ for ^4He . Men i 1972 opdagede Osheroff, Richardson og Lee [9], [10] en faseovergang i flydende ^3He ved ca. 2,6 mK – altså en tusindedel af T_λ .

I ^3He -kernen findes en uparret neutron, og derfor har kernen et spin på $\frac{1}{2}$ og et magnetisk moment. Det er dette, der gør ^3He til en fermion, og det giver anledning til et kompliceret fasediagram og en rigdom af magnetiske og andre fænomener. Fermion-karakteren bevirker, at den "superflydende" fase kvantemekanisk set minder mere om den superledende tilstand for elektroner end om superflydende ^4He . Således ligner varmekapacitets temperaturafhængighed, figur 6, til forveksling kurven for en superleder [11].



Figur 6. Varmekapacitet af flydende ^3He langs smeltepunktskurven. Temperaturen er givet i enheden $T_A = 2,6$ mK.

Magnetisk køling

Den først kendte form for paramagnetisme i faste stoffer hidrører fra ioner med et magnetisk moment, hvis retning kan indstille sig frit, for eksempel i forhold til et ydre magnetfelt. Længe inden atomfysikken kunne forklare de magnetiske momenter eksistens, behandle Langevin dette system ved hjælp af statistisk fysik. Så tidligt som 1905 forudsagde han, at når systemet blev anbragt i et magnetfelt, ville der komme en temperaturstigning. Årsagen er, at momenterne prøver at sænke deres energi ved at rette sig ind efter magnetfeltet – i konkurrence med de termiske forstyrrelser – og den overskydende energi kommer ud som varme. Hvis man afkøler materialet til udgangstemperaturen og derpå skruer ned for feltet, dvs. afmagnetiserer, vil der omvendt komme et temperaturfald. Ved høje temperaturer er disse effekter alt for svage til at

bruges som kølemetode. Men i 1923 leverede Leiden-laboratoriet endnu et vigtigt bidrag. Woltjer og Kamerlingh Onnes opdagede, at nogle paramagnetiske salte, fx gadoliniumsulfat (hvor Gd-ionen har et magnetisk moment), stadig fulgte Langevins teori ved de laveste helium-temperaturer. Den magnetiske susceptibilitet er omvendt proportional med temperaturen, og derfor bliver effekterne store ved lav temperatur. Nogle år senere foreslog Debye og Giaque uafhængigt af hinanden at udnytte denne mulighed for køling, og i 1933-1934 kunne tre forskellige grupper rapportere temperaturer ned til 0,25 K.

Teknikken var i brug i de følgende fyrré år, først til at studere de paramagnetiske stoffer selv, siden til at køle andre systemer; der blev fx fundet nye superledere med overgangstemperaturer under 1 K.

Ifølge den statistisk-fysiske beregning afhænger stoffets magnetisering, entropi osv af den helt afgørende Boltzmann-faktor $\exp(-\frac{E}{kT})$, hvor E i dette tilfælde er energien af det magnetiske moment i magnetfeltet, k er Boltzmanns konstant og T er temperaturen. E er proportional med magnetfeltet B , og under en adiabatisk, reversibel proces, hvor entropien er konstant, vil forholdet B/T derfor også være konstant. Man kan imidlertid ikke opnå $T = 0$, for hvert moment i stoffet er udsat for et lokalt, indre felt fra de omgivende momenter, og det sætter en nedre grænse for B . Til gengæld kan det indre felt give anledning til, at momenterne ordner sig i et eller andet mønster, og denne *magnetiske orden* kan være et mere interessant fænomen end en eventuel temperaturrekord.

I metodens senere år var cerium-magnesium-nitrat (CMN) et populært salt, både til køling og til termometri. Her er det indre felt så svagt, at temperaturer ned til omkring 2 mK kunne nås. Som generel køleproces er metoden nu helt fortrængt af den ovenfor nævnte $^3\text{He}/^4\text{He}$ -blandingskøler, der kan holde en konstant, lav temperatur i lange tidsrum, om nødvendigt i flere måneder.

Kernemagnetisk køling

Atomkernernes magnetiske momenter er stort set tusind gange mindre end ioners momenter (som skyldes elektroner); det indre felt er derfor tusind gange mindre, og kernemomenternes energier i det indre felt er således en million gange mindre. Følgelig kan man forvente at kunne nå omkring 2 nK ved magnetisk køling med atomkerner.

En pioner for denne metode var Nicholas Kurti (figur 7) i Oxford. Kurtis gruppe arbejdede med kernespinnene i kobber. Kobberet blev forkølet i et magnetfelt til ca. 12 mK ved hjælp af et paramagnetisk salt. Den påfølgende afmagnetisering bragte kernespinnenes temperatur i nærheden af 1 μK [12]. Man havde her den mærkværdige situation, at kernes magnetiske momenter (eller spin) befandt sig ved 1 μK , mens metallets elektroner og krystalgitter havde temperaturen 12 mK. Varmeudvekslingen mellem de to systemer var ikke stærkere, end at det tog flere minutter, før kerne-

spinnene atter var ved 12 mK. Denne relaksationstid er omvendt proportional med elektronernes temperatur og kan bringes op på hele dage.



Figur 7. Nicholas Kurti (1908-1998), bragte kernespinnene i kobber til en temperatur omkring 1 mikrokkelvin under sine eksperimenter ved Oxford Universitets Clarendon laboratorium. Billedet er muligvis taget i forbindelse med et af Kurtis TV-programmer.

Kurti var en farverig personlighed, som ikke veg tilbage for at lade TV-seerne kigge med i en live transmission af en kernemagnetisk afmagnetisering i laboratoriet. Han optrådte også som "Physicist in the Kitchen" med en del utraditionelle opskrifter [13].

Fra omkring 1970 blev der ved Helsinki Tekniske Universitet opbygget et laboratorium, som i henseende til fokusering og til uddannelse og motivering af en teknisk og videnskabelig stab bringer Leiden-laboratoriet i erindring. Den drivende kraft var Olli V. Lounasmaa



Figur 8. Olli V. Lounasmaa (1930-2002), Helsinki Tekniske Universitet, indførte tottrins kernemagnetisk køling. Indehaver af den nuværende lavtemperaturrekord: 50-100 pikokelvin.

Under brug af to kernemagnetiske køletrin forbundet i serie ("i kaskade", som de yndede at kalde det) blev der her sat den ene rekord efter den anden i kernespin-temperaturer. Formålet var dog mere dybsindigt: kernespinnene i mange metaller antages at udgøre et

så simpelt system, at de i særlig grad egner sig til afprøvning af teorierne for magnetisme, herunder magnetisk orden. I 1982 blev der påvist orden i kobber (ved 52 nK), i 1991 i sølv (560 pK). Køleteknikken var så effektiv, at de magnetiske strukturer har kunnet analyseres i detaljer med neutronstråling. Den laveste spintemperatur (ca. 100 pK) er nået i rhodium [14]; trods velbegrundede forventninger sås der ingen tegn på orden. Nogle af disse forsøg er tidligere beskrevet i KVANT [8].

På det seneste er der fundet tegn på kernemagnetisk orden i lithium (ved ca. 300 nK). I forlængelse af de eksperimenter er det opdaget, at lithium som det foreløbig eneste alkalimetall bliver superledende, ved ca. 300 μ K [15].

Konklusion

Lavtemperaturfysikkens 100-årige udvikling er primært båret af grundvidenskabelige interesser og har medført overraskende opdagelser om stoffets egenskaber ved ekstremt lave temperaturer, foreløbig ned til omkring 0,1 nanokelvin.

Da helium i 1908 for første gang blev fortættet, produceredes der ca. 60 ml væske efter to dages forberedelser. Nu tilbyder i hvert fald ét firma [16] en standardmaskine, der kan fremstille 280 l flydende helium i timen, og der tilbydes kapaciteter helt op til 3500 l/h. Denne teknologiske bedrift skyldes behovet for at køle superledende magneter, hvadenten de er beregnet til store acceleratorer som LHC i CERN, eller til hospitalernes MR-scannere. Ligesom på andre områder har der kunnet gå mange år, før tilsyneladende nytteløse opdagelser har fundet betydningsfulde anvendelser.

Litteratur

- [1] H. Kamerlingh Onnes: The liquefaction of helium. Communications from the Physical Laboratory at the University of Leiden, no.108 (1908), gengivet i: Boston Studies in the Philosophy of Science **124** (1991), med ialt 27 udvalgte artikler af Kamerlingh Onnes.
- [2] Dirk van Delft: Little cup of helium, big science. Physics Today March 2008, p.36-42
- [3] H. Kamerlingh Onnes: On the sudden change in the rate at which the resistance of mercury disappears. Communications from the Physical Laboratory at the University of Leiden, no.124c (1911), se [1].
- [4] Per Hedegård: Forenede Elektroner A/S. Om superledning og kvanteteori, s.36-45 (Munksgaard-Nysyn, København 1991)
- [5] Kasper T. Therkildsen og Jan W. Thomsen: Bose-Einstein-kondensation i atomare gasser. KVANT **19**, nr. 2 (2008) – dette nummer.
- [6] J.G. Bednorz and K.A. Müller. Z. Phys. **B64**, 189 (1986)
- [7] H. Kamerlingh Onnes: On the lowest temperature yet obtained. Communications from the Physical Laboratory at the University of Leiden, no.159 (1922), se [1].
- [8] Kim Lefmann og Finn Berg Rasmussen: Verdens trediekoldeste eksperiment – kernemagnetisk orden i sølv. KVANT **7**, nr.4, p.1-10 (1996)

- [9] D.D. Osheroff, W.J. Gully, R.C. Richardson, D.M. Lee: New magnetic phenomena i liquid ^3He . Phys. Rev. Lett. **29**, 920-923 (1972)
- [10] Finn Berg Rasmussen: Nobelprisen i fysik 1996. KVANT **8**, nr.1, p.18-24 (1997)
- [11] W.P. Halperin, C.N. Archie, F.B. Rasmussen, T.A. Alvesalo, R.C. Richardson: Specific heat of normal and superfluid ^3He on the melting curve. Phys. Rev. **B13**, 2124-2131 (1976)
- [12] N. Kurti, F.N. Robinson, F. Simon, D.A. Spohr. Nature **178**, 450 (1956)
- [13] N. Kurti and H. This-Benckhard: Chemistry and physics in the Kitchen. Scientific American April 1994, p.44-50, 94-96
- [14] http://ltd.tkk.fi/wiki/LTL/World_record_in_low_temperatures
- [15] J. Tuoriniemi, K. Juntunen-Nurmilaukas, J. Uusvuori, E. Pentti, A. Salmela, A. Sebedash: Superconductivity in lithium below 0.4 mK at ambient pressure. Nature **447**, p.187-189 (2007)
- [16] www.Linde-Kryotechnik.ch



Finn Berg Rasmussen, har gennem sin tid som lektor ved Niels Bohr Institutet studeret faste og flydende stoffer ved lave temperaturer (termiske, elektriske og magnetiske egenskaber). Er nu pensioneret. Medlem af KVANT's redaktion.

PFEIFFER  **VACUUM**

I året 1958

Kom den første turbopumpe på markedet



Meget er sket siden.

Ring for yderligere information

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

CAND. SCIENT'ER SPARE PENGE?

JA! Se hvordan på
www.candscient.nu

IDA er med mere end 65.000 medlemmer landets største interesseorganisation for tekniske og naturvidenskabelige kandidater. Flere og flere cand.scient.er har allerede opdaget, at de er bedst stillet i IDA. Udover økonomiske fordele som landets formentlig billigste og bedst dækkende forsikringer, får du som medlem adgang til mere end 700 arrangementer årligt, deltagelse i fagtekniske selskaber og meget mere. Brug 5 minutter på www.candscient.nu og læs om alle fordelene. **Velkommen som cand.scient. i IDA.**



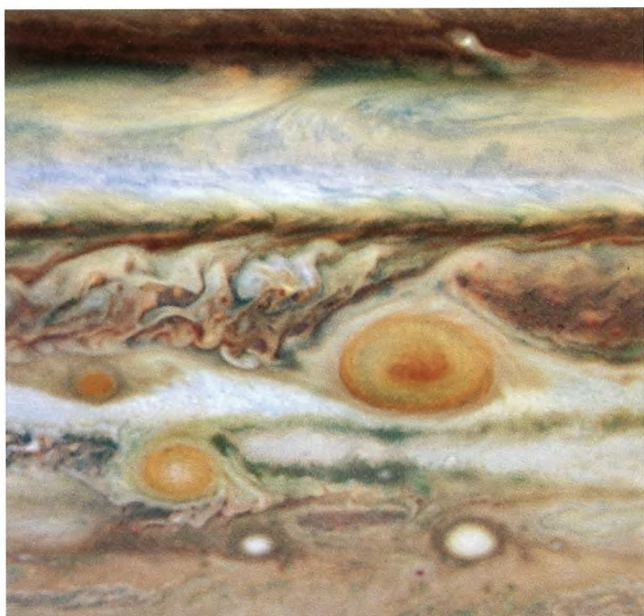
VIDEN DER STYRKER

KVANT-nyheder

Af John Rosendal Nielsen og Sven Munk, KVANT.

Ny hvirvelstorm på Jupiter

ASTRONOMI. Når vejret ikke helt arter sig som man ønsker, så er det rart at se på et andet sted, hvor vejret er endnu dårligere. Jupiter er et godt eksempel på et sådant sted, hvor storme er langvarige og voldsomme fænomener. Billedet, der er optaget af Hubble's Wide Field Planetary Camera 2, viser at den store gasplanet nu har tre røde pletter.



Pletterne er alle store hvirvelstørme. Den største plet – kendt som den store røde plet (the Great Red Spot) er dobbelt så stor som Jorden og har eksisteret så længe man har kunnet studeret Jupiter i detaljer – dvs. 200 år – men man formoder at plettens alder er dobbelt så gammel. Den mindre røde plet (Red Spot Jr. – den nederste) blev første gang observeret i det tidlige forår 2006, og den er halvt så stor som den store. Red Spot Jr. opstod ved at tre mindre storme smeltede sammen i perioden 1998-2000, men først i februar 2006 fik pletten den samme røde farve som den store plet. Nu er en tredje rød plet dukket op (den ses yderst til venstre i billedet), idet en lille hvid storm har fået den røde farve.

Grunden til farveskiftet af pletterne er stadig en videnskabelig gåde. Formodentlig opstår den røde farve, når stormen bliver kraftig nok til at materiale fra dybereliggende lag bliver løftet op over skydækket. Materialet bliver derved påvirket af det ultraviolette sollys i en fotokemisk proces, der endnu ikke er kendt.

Jupiter og dens atmosfære vil i den nærmeste fremtid blive studeret mere intenst. Den nye røde plet og den store røde plet ligger på samme breddegrad på Jupiter, og hvis de ikke ændrer kurs, vil de smelte sammen til august. Observationerne synes ligeledes at bekræfte, at Jupiter undergår klimaforandringer. Dette vil sikkert ikke mindske interessen for Solsystemets største gasplanet, hvor man håber at forstå de processer, der er på spil i dens atmosfære.

Kilder: www.tycho.dk/article/view/4954/, hubblesite.org/newscenter/archive/releases/2008/23/image/a/

Mere nyt fra Genesis

ASTRONOMI. Fordelingen af ilt-isotoper (^{16}O , ^{17}O og ^{18}O) på Jorden, på Månen og i meteoritter er forskellig. Der er ikke nogen forklaring på dette forhold. Rumsonden Genesis har i to år i en afstand af 1,5 mio. km fra Jorden indsamlet ioner, som er udsendt af Solen via solvinden. Rationalet bag dette måleprogram synes at være, at den ionflux fra solens overflade, som findes nu, afspejler sammensætningen af isotoper på Solen ved dens fødsel. Under alle omstændigheder viser målingerne, at koncentrationen af ^{16}O -isotopen, relativt til de andre isotoper, er større i solvinden end på Jorden og i meteoritter.



Landingen af rumsonden Genesis lignede en katastrofe (se billedet), men heldige omstændigheder gjorde det muligt at redde brugbart materiale ud af kollektorerne. For at undgå forurening fra Jorden blev det øverste lag (20 nm) af kollektorerens indsamlingsflade "slebet af" med en stråle af cæsiumioner.

Kilder: Kevin McKeegan, University of California, "A First Look at Oxygen in a Genesis Concentrator Sample", <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2008/pdf/2020.pdf>;

Genesis hjemmeside, <http://genesissmission.jpl.nasa.gov/science/lpsc.html>.

Taber et sekund på en milliard år

ATOMFYSIK. Det er hvad forskere på det amerikanske NIST (National Institute of Standards and Technology) angiver som stabiliteten i et nyt ur, som er udviklet dér.

Taktgiverne i dette nye optiske ur er aluminium-atomer, som udviser resonans i det synlige område omkring 1000 THz (den nøjagtige værdi for "clock transition frequency": 1121015393207851(6) Hz). Den benyttede resonansfrekvens er langt mindre påvirkelig af ydre felter og temperatur end det man kender fra andre atomer. Da disse aluminiumatomer samtidig er utilbøjelige til at udsende fotoner bliver den nødvendige vekselvirkning med omgivelserne vanskelig. På en eller anden måde skal man jo bestemme atomets resonansfrekvens. De kreative forskere introducerede et "hjelpeatom" (Be) som skulle sladre, når laserlysets frekvens

ikke passede til aluminiumatomets. Forskerne karakteriserer denne fremgangsmåde som "quantum computing methods". Hvis frekvenserne ikke er nøjagtig ens bliver hjælpeatomet uroligt, hvorved det ved belysning med en anden laser vil udsende mere eller mindre lys. Det er således den modtagne stråling fra hjælpeatomet, som afslører afvigelser fra aluminiumatomets resonansfrekvens.

De to ioner befinder sig i en elektromagnetisk fælde med en indbyrdes afstand på omkring 1 mikrometer. Hele systemet er kølet ned til tæt på det absolutte nulpunkt, så termiske vibrationer ikke skal drille. Det nye ur arbejder med en relativ usikkerhed på 10^{-17} .

På basis af det nye ur mener forskerne at kunne fastslå, at finstruktur-konstanten i løbet af et år ikke er forandret målbart, hvilket man tolker som uforandret.

Kilder:

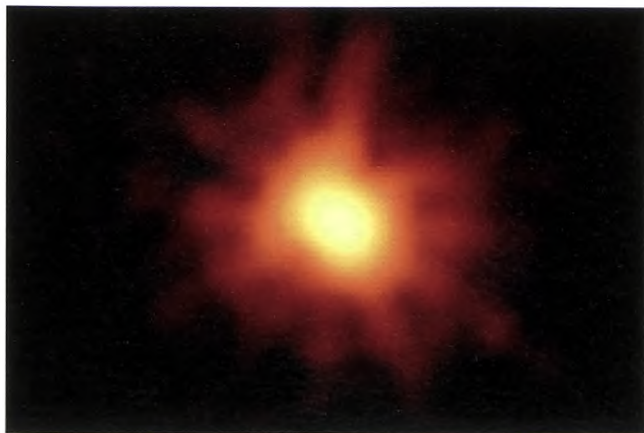
- 1) Frequency Ratio of Al^+ and Hg^+ Single-Ion Optical Clocks; Metrology at the 17th Decimal Place, T. Rosenband, m.fl. 6. mar. 2008, <http://www.sciencemag.org/scienceexpress>
- 2) http://www.nist.gov/publicaffairs/releases/logic_clock/logic_clock.html;
- 3) T. Rosenband, m.fl., Observation of the $^1\text{S}_0 \rightarrow ^3\text{P}_0$ Clock Transition in $^{27}\text{Al}^+$, *Physical Review Letters*; PRL 98, 220801 (2007).

Super supernova

ASTRONOMI. En stjerneeksplosion med en voldsomhed, som overgår alle hidtidige observationer blev iagttaget den 19. marts i år. Det drejer sig om objektet døbt: GRB 080319B, hvor GRB står for "Gamma-Ray Burst", hvis afstand til Jorden er beregnet til 7,5 mia. lysår. Dette svarer til en rødforskydning på 0,937.

Før denne supernova, fandt den hidtil kraftigste supernova sted i galaksen M33 og den kunne ses med det blotte øje. M33 befinder sig blot 2,9 mio. lysår væk.

Med NASA rumsonden SWIFT, som i tre år har jagtet sådanne ekstreme gammastrålekilder, lykkedes det at lave målinger (se foto) af såvel de optiske signaler som den ledsagende gammastråling. I løbet af et tidsrum på 24 timer var der en utrolig aktivitet på stjernehimlen. Der blev iagttaget 5 gammastråle-eksplosioner og forskellige andre udbrud. Professor David Burrows var med sit arbejde på jordstationen for SWIFT, i nærheden af Pennsylvania State University, mere end begejstret. Nasa SWIFT-eksperten Neil Gehrels kunne kun bekræfte, at noget lignende aldrig før var set.



Styrken i denne supernovaeksplosion angives til et par mio. gange kraftigere end noget tidligere observeret. Eller i astronomsprog: magnitudo 5,8 i 30 sek. Det er lidt uklart hvordan millionerne er fremkommet, men det er under alle omstændigheder stort. Resultatet afhænger af, om det er gammastrålingen eller den synlige stråling, der refereres til.

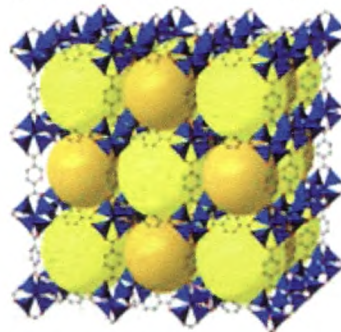
Hændelsen er så bemærkelsesværdig, at den allerede har fået sin egen side på: en.wikipedia.org/wiki/GRB_080319B. Se også artiklen i Kvant nr. 1, marts 2007, "Stjerner som ville dø i fred afsløres ved gamma-stråling".

Kilder: http://www.scientificblogging.com/news_releases/-grb_080319b_7_5_billion_light_years_away_a_doozy_of_a_light_show; <http://grb.fuw.edu.pl/pi/ot/grb080319b/normal.html>; <http://heasarc.nasa.gov/docs/swift/bursts/index.html#080319b>.

Nyttige kemiske skeletter

ATOMFYSIK. Med metalorganiske forbindelser kan der laves åbne strukturer, som kan bruges til mange formål. Sådanne strukturer er også kendt under fællesbetegnelsen MOFS. Et eksempel herpå er en "brintbeholder", som kan indeholde 3,8 % af beholderens egen vægt som brint. Dette betragtes som lidt af en rekord. Det benyttede stof til dette tankmateriale har betegnelsen Mil-53. MIL står for "Materials of Institut Lavoisier".

Billedet giver en antydning af hvordan, atomerne ordner sig regelmæssigt i stilladsagtige strukturer.



Hvis man et øjeblik vælger at betragte sådanne kemiske systemer som reoler, er det relativt let at forandre hyldernes fysiske dimensioner. Til dette formål kan der f.eks. benyttes bifunktionale enheder som terphthalsyre som lader sig forbindes indbyrdes med metalatomer eller metal-ilt-clusters. At fremstille sådanne skeletstrukturer er blevet sammenlignet med at bage brød. Kemikalierne æltes sammen i ovnen og afkøles.

Sådanne åbne strukturer, hvor noget kan puttes ind i, har inspireret til overvejelser om det er muligt at benytte dem som reservoir for medicin, som kan frigive sit indhold over længere tid. Men overvejelserne knytter sig også til konstruktion af nanoreaktorer og katalysatorer. Ved valg af stoffer og geometri i strukturen, kan man også påvirke selektiviteten i de katalytiske egenskaber.

Engelske forskere har for nylig indbygget den chirale (optisk aktive) aminosyre L-asparaginsyre i en "skeletsubstans". Herved kunne de undertrykke den sædvanlige kemiske proces, som giver to spejlvendte molekyler (enantiomere), og i stedet få en proces, som gav molekyler med samme chiralitet [2]. Dette vil helt sikkert være interessant for den farmaceutiske industri.

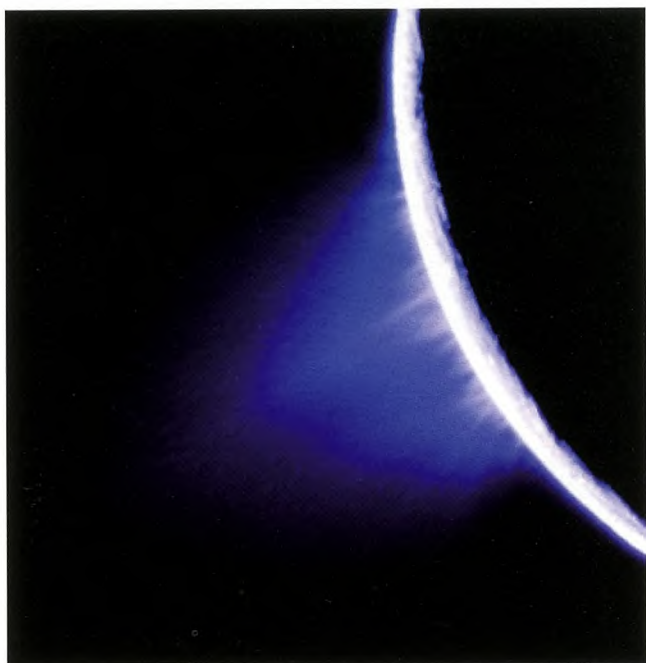
En egenskab mere er værd at nævne, nemlig den store indre overflade. En substans med betegnelsen Mil-101 med en vægt på 1 gram har således en overflade på 6000 m². En oversigt over aktuel forskning på dette område findes i [1].

Kilder:

- 1) Bauer S. og Stock N. MOFs – Metallorganische Gerüststrukturen. Funktionale poröse Materialien "Chemie in unserer Zeit" Vol. 42, Issue 1, Februar 2008, s. 12-19, <http://www3.interscience.wiley.com/>
- 2) Rosseinsky M. University of Liverpool, "Chemical Communications", doi: 10.1039/b718443c; 3) Fischer R. og Wöll C., *Journal of the American Chemical Society*, Bd. 129, s. 15118
- 4) <http://yaghi.chem.ucla.edu/pdfPublications/buildingBlocks.pdf>

Cassini møder Enceladus

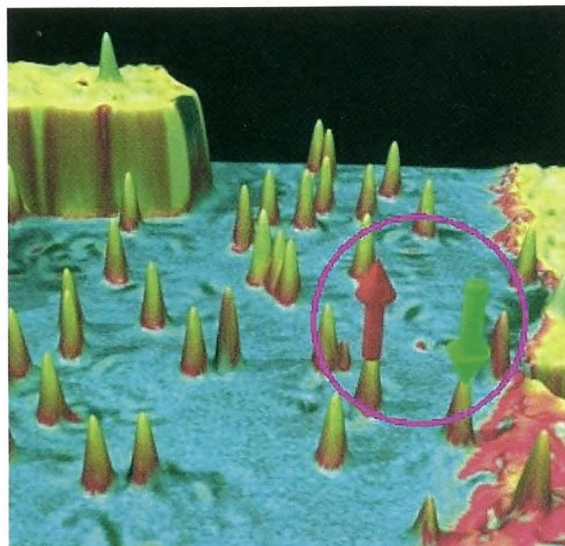
ASTRONOMI. Rumsonden Cassini har været forbi Saturn-månen Enceladus og taget et par gode billeder. Trods månens beskedne størrelse (diameter 500 km) er den interessant for forskerne, fordi den gemmer på hemmeligheder. Månens overflade er isbelagt og meteorkraterne antyder at isen i nogle områder er permanent.



På en endnu uforklaret måde udvikles der varme i månen, så der findes flydende vand. Det manifesterer sig tydeligt ved de fontæner af vand (is), som er indfanget på fotoet her. Spekulationerne om varmeudviklingen går i retning af, at Saturns gravitationsfelt er så kraftigt, at månens indre så at sige æltes på sin vej rundt om Saturn – ligesom ved Jupiters store måner. Men regnestykket synes ikke rigtig at passe, så intet vides med sikkerhed.

Et atom per bit

FASTSTOFFYSIK. Forskerhold under ledelse af Jens Wiebe har fundet en metode, som i princippet gør det muligt at bruge et atom til at lagre en bit. Alene den omstændighed, at de observerede fysiske fænomener udspiller sig ved en temperatur nær det absolutte nulpunkt (flydende He) og i et kammer med ultrahøjvakuum, fortæller dog, at der er et stykke vej til en kommerciel hukommelse.

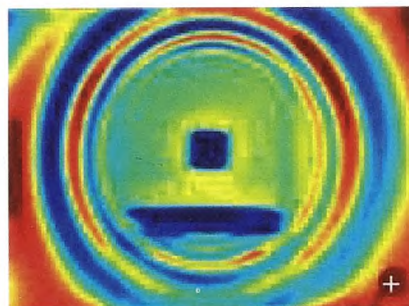


Billedet er lavet ved hjælp af et raster-tunnel-mikroskop og det viser koboltatomer på en platinoverflade. Det man skal bemærke er, at det har været muligt at påvirke og bestemme koboltatomernes magnetiseringsretning. Den violette cirkel markerer en rød og en grøn pil, som skal vise magnetfeltets retning.

Kilde: Hamburg Universitet, Institut für Angewandte Physik.

Neutron-tomografi

KERNEFYSIK. Målinger på faste stoffer med langsomme neutroner kan nu også benyttes til at lave 3D-billeder af de magnetiske forhold inde i materialer. Årsagen til at neutroner let kan gennemtrænge faste stoffer er, at de er elektrisk neutrale. Vekselvirkningen mellem neutron og stof er knyttet til de magnetiske felter i stoffet og neutronens magnetiske felt frembragt af spinnet.



Metoden til at frembringe 3D billeder minder i mange henseender om den proces de fleste kender som røntgen-tomografi. I stedet for dæmpning af røntgenstrålen er det nu ændringen af neutronernes spin, som er informationsbærer. De langsomme, mono-energetiske og spinorienterede neutroner brugt i forsøget leverede Hans-Meitner-institutet. Når neutronerne har passeret stoffet, der måles på, skal de detekteres og deres spin bestemmes. Når neutronstrålen har været hele vejen rundt om forsøgsobjektet, skal en computer

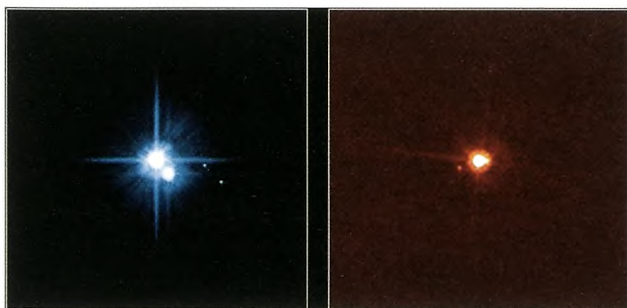
omforme de rå måledata til 3D-billeder. Billedet viser en svævende magnet (dipol) over en afkølet superleder.

Kilder: Nikolay Kardjilov, *Nature Physics*, Online-Edition (mar. 2008) Hans-Meitner-Institut, Berlin http://www.hmi.de/bereiche/SF/SF3-methods/ntomo/index_en.html

Solsystemet – nu med plutoider!

ASTRONOMI. Det er næsten 2 år siden, at den Internationale Astronomiske Union (IAU) bestemte, at Pluto ikke længere skulle være en planet, men til gengæld blev den en dværgplanet. Støvet fra IAU havde dårligt nok lagt sig før beslutningen blev kritiseret på et meget følelsesladet grundlag. Dette blev beskrevet i tidligere Kvant-nyheder (Kvant nr. 3, 2006).

En dværgplanet er et himmellegeme, der er tungt nok til at gøre legemet rimeligt rundt som en planet, men i modsætning til en planet har den ikke rensat omkring dens bane. IAU har nu besluttet at dværgplaneter, der kredser om Solen udenfor Neptuns bane, skal kaldes for plutoider, hvilket kan tolkes oprejsning til Pluto.



Billederne herover viser de to eneste kendte plutoider: Til venstre *Pluto* (der har tre måner – Charon, Hydra og Nix) og til højre *Eris* (der har månen Dysnomia). Men man forventer, at listen over plutoider vil øges i de kommende år, idet astronomerne vil blive bedre til at finde disse himmellegemer af klippe og is, der kredser i en bane udenfor Neptun. Den tredje dværgplanet, Ceres - der ligger i asteroidebæltet, har ikke fået en speciel kategori, idet den formentligt er det eneste objekt af sin slags.

Kilder: www.iau.org/public_press/news/release/iau0804;
<http://www.tycho.dk/article/view/4984/1/32>

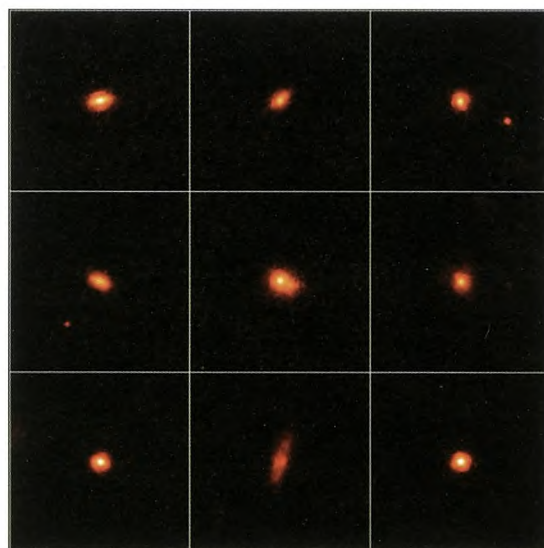
Kompakte galakser i det tidlige Univers

ASTRONOMI. Astronomer har afsløret galakser i det tidlige univers med Hubble Rumteleskopet og Keck observatoriet, der er ekstremt tunge i forhold til deres størrelse.

Observationerne fra Hubble viser galakser, der ligger 11 milliarder lysår væk – og dermed ser vi galakserne som de så ud, da Universet var omkring 3 milliarder gammelt. Disse ni unge galakser har hver omkring 200 milliarder stjerner og vejer altså det samme som Mælkevejen, men de er små i forhold til Mælkevejen. De kompakte galakser har en diameter på 5.000 lysår – hvilket er en tyvendedel af Mælkevejens diameter.

Galaksernes masse er bestemt ud fra deres farve, og astronomerne kan derved udlede at stjernerne bevæger sig med en hastighed på omkring 400-500 km/s rundt i galaksen. Stjerner i vores nuværende galakser bevæger sig med en hastighed på det halve af de kompakte galakser.

Astronomerne er overrasket over de kompakte galakser. Tidligere har man i Hubble Deep Field observationer fundet små galakser i det tidlige univers, men deres masse var tilsvarende små. Disse galakser er grundlaget for de galakser, som vi kender i dag. Det vil betyde, at galakserne skal vokse 5 gange i deres størrelse.



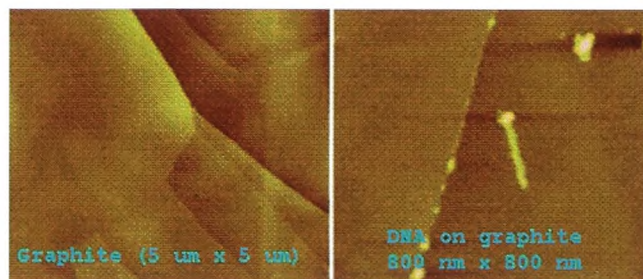
Spørgsmålet er bare hvordan kan galakserne få den størrelse, som vi observerer i dag? Forskerne har et forslag, hvor mørkt stof spiller en rolle. Mørkt stof, udsender ikke noget lys og er derfor ikke synligt, men det udgør den væsentlige andel af alt stoffet i Universet. Koncentrationer af usynligt mørkt stof kan have indfanget store mængder af brintgas i det tidlige Univers. Brinten blev hvirvlet rundt i det mørke stofs tyngdefelt, hvorved stjerner blev dannet i et stort antal. Hvordan disse galakser end blev dannet, er det klart, at de kompakte galakser er vigtige for at forstå galaksernes udviklingshistorie.

Kilder: Tycho Brahe Planetariet www.tycho.dk/article/view/4920/, Pressemeldelse fra ESA www.spacetelescope.org/news/html/heic0811.html

DVD læsehoved som atommikroskop

ATOMFYSIK. Forskere på Taiwan har udnyttet, at det for få midler (20 \$) er muligt at erhverve et DVD-laser modul med to bølgelængder (655 nm og 790 nm), integreret optik, en hurtig fotodetektor (80 MHz) og diverse udgangssignaler. Den cantilever, som bruges til at aftaste overfladen, bliver selv aftastet med laserlyset i DVD-læsehovedet.

Forskeren [1] fortæller, at det var ret enkelt at skaffe hardwaren, men at få dokumentation for signaler og opbygning var ret besværligt. Mange producenter betragter indmaden i sådanne komponenter som hemmeligheder, der helst ikke skal nå konkurrenterne. Til sidst blev der dog etableret kontakt til et firma på Taiwan (Topray Technologies), som var imødekommende.



Billederne viser et par eksempler på, hvad der opnået med en forsøgopstilling. For bevægelser i det vertikale plan har man opnået en opløsning på 0,37 nm. Desuden oplyses det, at det har været muligt at detektere cantileverens egenresonans alene ved termisk excitation. Det må have været meget tæt på støjgrænsen.

Kilde: <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/33346>; Ing-Shouh Hwang, Academia Sinica, Institute of Physics

Phoenix er landet på Mars

Af John Rosendal Nielsen, Aurehøj Gymnasium og KVANT.

Efter 10 måneders rejse landede NASAs "Phoenix Mars Lander" den 26. maj på Mars. I denne artikel vil vi give Jer nogle af højdepunkterne fra missionen indtil nu.

Mars har fået besøg fra Jorden

Mange ting kunne være gået galt under en Marslanding, men rumsonden "Phoenix Mars Lander" landede sikkert på den røde planet den 26. maj kl. 1:53 om morgenen dansk tid. Knap 2 1/2 time senere kunne det bekræftes, at sondens solcellepaneler og kameramasten var blevet foldet ud, og det første billede blev modtaget på Jorden.

Der var knap gået en dag før NASA-sonden "Mars Reconnaissance Orbiter" (MRO) kunne sende et billede af Phoenix-sonden på overfladen af Mars (figur 1). Phoenix kommunikerer ikke direkte med Jorden, men bruger MRO og sonden "Mars Odyssey" som relæstationer. Dette kom til at medføre forsinkelser i at afprøve Phoenix' systemer, da MRO havde et midlertidigt teknisk problem på 2. dagen af sondens besøg.

Is under det røde støv

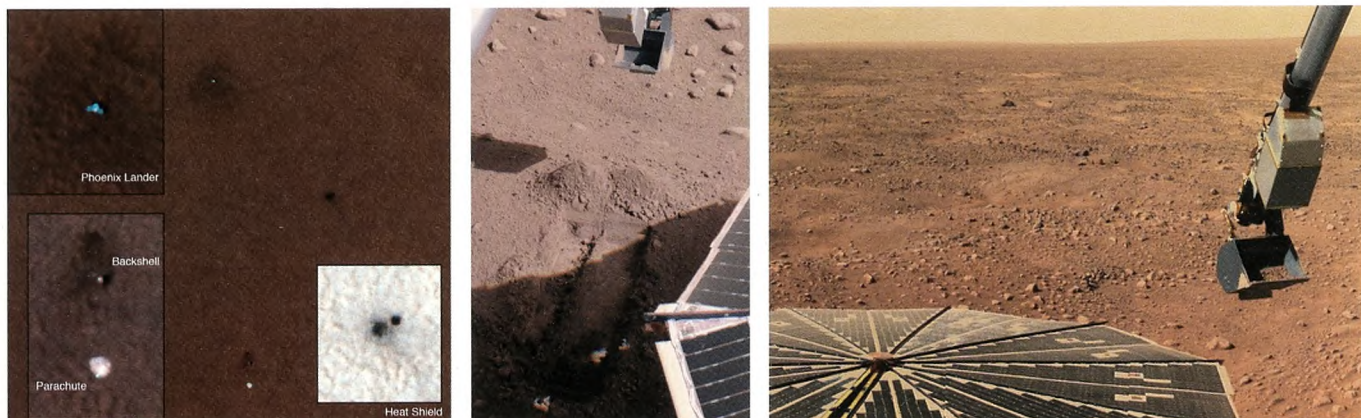
Phoenix er landet i et fladt område nær Mars' nordpol. Fravalget af et mere kuperet terræn med klipper eller lignende er bevidst, da man ønskede en problemfri landing. Nordpolen på Mars er desuden utrolig interessant, da der findes store mængder af vandis og vand er fundamentalt for liv som vi kender det. Ved at studere isens historie håber man at lære mere om Mars' klimaændringer. Bare fire dage senere havde man klare indikationer af, at der virkelig var is. Med kameraet på Phoenix' robotarm opdagede forskerne, et hvidt materiale under sonden. Det formodes at være et lag is, der blev blotlagt under landingen, hvor raketmotorerne har blæst støv væk. Forskerne vil prøve at studere, hvordan det hvide lag reflekterer under forskellige belysningsforhold, så de kan bekræfte om det virkelig er is.



Figur 2. Vindmåler udviklet af Aarhus Universitet.

Dansk vindmåler

Phoenix missionen er ledet af forskere fra Arizonas Universitet, men der deltager også forskere ved universiteter fra Canada, Schweiz, Tyskland, Finland og Danmark. Fra Danmark bidrager forskningsgrupper fra universiteterne i København og Århus med en række instrumenter. Aarhus Universitet har udviklet en vindmåler (figur 2) til de meteorologiske målinger, som Phoenix skal udføre. Vindmåleren er en såkaldt "tell-tale", og den blev udviklet i løbet af tre år, hvilket er enestående for udviklingen af sådanne instrumenter. Telltale er en simpel konstruktion, hvor et lille rør hænger i en snor. Når vinden blæser, presses røret væk fra den retning, hvor vinden kommer fra. Ved at tage billeder af vindmåleren med Phoenix' kamera, kan man bestemme vindens retning og hastighed. Udover at give informationer om vejret ved Mars' nordpol, skal vindmåleren desuden hjælpe de operatører, der betjener sondens robotarm til at grave jordprøver, da der her skal tages hensyn til vindens retning og styrke.



Figur 1. Til venstre: Landingsstedet optaget med "Mars Reconnaissance Orbiter" fra sit kredsløb om Mars. I midten: Hul gravet med skovlen på roboarmen. Til højre: Robotarmen i funktion med horisonten i baggrunden. Alle billeder fra NASA.

Farvekorrektion af kameraet

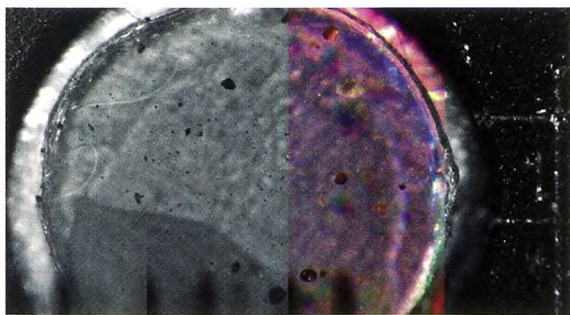
Forskere fra Niels Bohr Institutet har forsynet sonden med det såkaldte 'kalibreringsmål', der skal korrigere farvefølsomheden af Phoenix' kamera. En magnet, der samler det magnetiske marsstøv, er omgivet af små plader med farveprøver, og ved jævnlige optagelser af magneten og farveprøverne kan de bestemme kameraets farvefølsomhed. Med kalibreringsmålene håber forskerne desuden at lære mere om marsstøvet's egenskaber.

Menneskelig robotarm

Phoenix er udstyret med en 2,4 meter lang robotarm, der minder noget om en menneskearm, med et skulderled, albueled og håndled. Robotarmen er så stærk, at den kan løfte en mand, og det er på trods af at den er lavet af rør med en diameter på kun ca. 5 cm. Armens hånd er en skovl, der skal benyttes til at grave en grøft på ca. en halv meter og tage prøver i forskellige dybder.

Støvprøver undersøges efter opvarmning

I begyndelsen af juni startede Phoenix gravearbejdet, og på trods af problemer med den opsamlede jordprøve fra marsoverfladen, der var meget klumpet, er det lykkedes at få prøven ned i TEGA-instrumentet. TEGA (Thermal and Evolved-Gas Analyzer) er otte små engangs-ovne, der varmer jordprøven op til 1.000 grader Celsius. Prøven vil derved fordampe, og et massespektrometer vil registrere hvilke isotoper prøven består af. Problemet med den klumpede prøve var, at der kun kan komme små partikler – op til en millimeter store – gennem en filterskærm ned i ovnen. Heldigvis har filterskærmen en rysteanordning, der fik løsnet nok materiale til at ovnen kunne fyldes op.



Figur 3. Mikroskopbillede af støv og sandkorn fra Mars under og efter landing. Støvet er opsamlet af en siliciumskive.

Mikroskopbilleder af støv

De små ovne er ikke det eneste instrument, som Phoenix kan benytte til at undersøge prøverne fra Mars. MECA-instrumentet (Microscopy, Electrochemistry and Conductivity Analyzer) er et mikroskop, der desuden registrerer jordbundens evne til at lede varme og strøm. Mikroskopet har produceret det hidtil skarpeste mikroskop-billede af støv og sand fra Mars (se figur 3). Det er en klistret skive af silikone, der er 3 millimeter i diameter, hvor der er blevet samlet støv og sandkorn fra Mars under og efter landing. Et problem har været at afgøre om partiklerne faktisk var fra Mars eller om de er kommet med fra Jorden.

Vulkanske partikler

Observationer med mikroskopet viser æsten tusind individuelle partikler med en størrelse ned til ca. en tiendedel af tykkelsen af et menneskehår. I prøven findes større sorte glasagtige partikler og mindre rødlige partikler. Ifølge forskerne er der mindst fire forskellige mineraler i prøven. De to forskellige partikeltyper kan fortælle noget om Mars' historie. Man mener, at de større glasagtige partikler kan være oprindelige vulkanske partikler, som vejr og vind har forarbejdet til mindre partikler med højere koncentration af jern – og dermed bliver de mere rødlige.

Det sidste nye fra Phoenix er, at man har set klumper af overflademateriale forsvinde ved at sammenligne to billeder med 3 dages mellemrum. Man kan selv sammenligne billederne [3], der er optaget den 15. og 18. juni. Det er sandsynligvis klumper af is, der er fordampet eller rettere sublimeret – dvs. isen går direkte fra fast form til vanddamp.

Litteratur

- [1] Nyheder fra Tycho Brahe Planetarium mellem den 26/5 og 20/6, <http://www.tycho.dk/article/archive/343/>
- [2] Pressemeldelser fra NASA.
- [3] http://www.jpl.nasa.gov/images/phoenix/collection_16/-dodo_020_024.gif



John Rosendal Nielsen er nyhedsredaktør på Kvant og fysiklærer på Aurehøj Gymnasium.

Valg til DFS

Der er valg til Dansk Fysisk Selskabs bestyrelse samt sektionerne for perioden 1. sept. 2008 – 1. sept. 2010. Valgbestyrer er Bjarne Andresen, NBI, Københavns Universitet. Henvendelse om opstilling sker på: andresen@fys.ku.dk senest den. 29. aug. 2008. Se i øvrigt hjemmesiden www.dfs.nbi.dk.
Jørgen Schou, Formand for DFS.

Næste Årsmøde for DFS bliver Nordisk!

Næste års årsmøde afholdes på DTU den 16.-18. juni (fra tirsdag middag til torsdag middag) med DTU Fotonik, Danmarks Tekniske Universitet, 2800 Kgs. Lyngby som vært. Det vil blive et fællesmøde for de nordiske selskaber med nogenlunde samme form som det normale danske møde med plenarforedrag, postersessioner og specialiserede sessioner i condensed matter, biofysik, plasmafysik, kerne- og partikelfysik mm. DFS' generalforsamling vil blive holdt i forlængelse heraf, tidligt torsdag eftermiddag. Reserver allerede nu dagene! Følg med på www.dfs.nbi.dk.

Foreningsnyt – foredrag i efteråret

Astronomisk Selskab

Astronomi fra jordoverfladen.

I Danmark har vi en lang og stærk tradition indenfor observationel astronomi. Dette er en tradition, som strækker sig helt tilbage til Tyge Brahe og Ole Rømers banebrydende observationer. Men hvor står vi i dag? I en tid, hvor vi er vant til at se fantastiske billeder optaget fra rummet, skal vi i denne foredragsrække høre om nogle af de projekter, som kendetegner dansk jord-baseret astronomi i dag og i fremtiden? det er nemlig langt fra alt, som gøres bedst fra rummet. Vi skal høre om et projekt der vil udnytte astronomiske målinger

til at undersøge Jordens klima, om et nyt projekt som vil revolutionere undersøgelsen af stjernernes indre og eftersøgningen af planeter omkring andre stjerner, og om hvordan det er at bygge instrumenter til et af verdens største og bedste teleskoper, nemlig et af de fire VLT (Very Large Telescope) teleskoper i Chile. Endelig skal vi høre om fremtiden for observationel astronomi, på nationalt såvel som internationalt plan.

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

Foredragskalender

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Sep.				
8/9	19.15	"Jordskin: Se på månen og forstå vores klima"	Peter Thejll	AS (Kbh)
15/9	19.15	"Jordskin: Se på månen og forstå vores klima"	Peter Thejll	AS (Årh)
29/9	19.15	"X-shooter: Deltagelse i bygningen af et instrument til VLT"	Per Kjærgaard Rasmussen	AS (Kbh)
Okt.				
6/10	19.15	"X-shooter: Deltagelse i bygningen af et instrument til VLT"	Per Kjærgaard Rasmussen	AS (Årh)
20/10	19.15	"SONG: Exo-planeter og stjernesvingninger"	Frank Grundahl	AS (Kbh)
27/10	19.15	"SONG: Exo-planeter og stjernesvingninger"	Frank Grundahl	AS (Årh)
Nov.				
3/11	19.15	"Fremtidens teleskoper"	Hans Kjeldsen	AS (Kbh)
17/11	19.15	"Fremtidens teleskoper"	Hans Kjeldsen	AS (Årh)
Dec				
1/12	19.15	"Det nordiske teleskop: Mellem Brorfelde og det globale observatorium"	Johannes Andersen	AS (Kbh)
8/12	19.15	"Det nordiske teleskop: Mellem Brorfelde og det globale observatorium"	Johannes Andersen	AS (Årh)

Foredragene afholdes på følgende adresser:

AS (Kbh): Auditoriet, Juliane Maries Vej 30, 2100 Kbh. Ø

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

Astrotræf på Stevns Natur Center

Første weekend i oktober afholder Astronomisk Selskab for sjette gang landsdækkende astrotræf på Stevns.

Vi byder på gode foredrag (flere, hvis vejret mod forventning er dårligt) af hhv Torben Tastrup, som fortæller om "hans liv som amatørastonom" og af professor Minik Rosing, der fortæller om Livets og kontinenternes gåde og stiller spørgsmålet: "Skabte livet landjorden?" Der bliver naturligvis mulighed for observation under Stevns mørke stjernehimmel, hyggeligt samvær med andre amatørastonomer fra hele landet og mulighed for at se klinten med det berømte "fiskelerlag" sammen med naturvejleder Peer Nørgaard. Forhandlere af teleskoper mv kommer og udstiller og sælger.

Læs mere om astrotræf 08 på: www.astronomisk.dk hvor du også finder en online tilmeldingsblanket. Billedet herunder er fra sidste års træf og er taget af Bjørk Jensen. Deltagerne observerer Venus lørdag morgen. Flere billeder findes på: <http://www.afkb.dk/gallery/stevns2007>.



Aktuelle bøger

Af Finn Berg Rasmussen og Michael Cramer Andersen.

Hvad er videnskab?

Af: *Helge Kragh*. Akademisk Forlag 2008. "Hvad er videnskab?", 176 sider, 199 kr. <http://www.akademisk.dk>.

Forlagets tekst på bagsiden fortæller, at bogen er skrevet "på et niveau, der ikke kræver særlig kendskab til de naturvidenskabelige fag." Dens emnevalg og sproglige formulering gør den heller ikke til en bog for "manden på gaden". Med andre ord er det en bog for akademikere i andre fag.

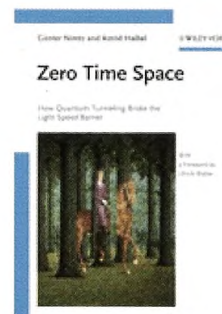
De to første kapitler søger at afgrænse og karakterisere naturvidenskab generelt, ud fra en historisk-filosofisk angrebsvinkel. Forfatteren er godt klar over, at disse overvejelser ligger langt væk fra naturvidenskabelig praksis, men de vil nok interessere den ovennævnte læsergruppe. I de fire følgende kapitler beskrives hovedpunkter af den historiske udvikling i henholdsvis fysik, astronomi/kemi (en interessant sammenstilling), geologi og biologi. Vægten ligger mere på det idemæssige og på forskersamfundenes sociologi end på fagenes konkrete indhold.

Bogens sidste kapitel har den provokerende overskrift: "Er naturvidenskaben meningsløs?", men spørgsmålet er snarere "hvad er meningen med naturvidenskab", og det lille, korte kapitel beskæftiger sig med naturvidenskabens betydning i samfundet og i folks hoveder. Hvis man savner klare argumenter for, hvorfor astrologi og anden "alternativ viden" ikke er videnskab, kan man finde dem her.

Hvert kapitel slutter meget fint med forslag til supplerende læsning, og der er en generel litteratur- og referenceliste lige før registeret. Der er tale om historiske eller filosofiske bøger. Jeg kunne godt savne flere indlæg fra udøvende naturvidenskabsfolk, fx Richard P. Feynman: "The pleasure of finding things out" (Penguin Books 2001), eller James D. Watson: "The double Helix" (Penguin Books 1999).

Det er altid let at finde små kritikpunkter i en given bog. Et par steder, fx side 104, bruger Kragh ordet "reducere", hvor jeg ville have skrevet "deducere". Der er meget få konkrete tal, men så er det lidt trist at se en mangel på præcision, som om forfatteren var en naiv gennemsnitsjournalist og ikke en professionel fysiker: side 105 angives et beløb for den kemiske industris "økonomiske værdi"; er det den investerede kapital, den årlige omsætning, eller hvad? Side 107 oplyses nogle beløb per tid, hvor enheden burde være dollars per år eller lignende. I øvrigt siger sådanne tal ikke så meget uden noget at sammenligne med eller en god paratviden om andre sektors økonomiske forhold.

Finn Berg Rasmussen



Tunneleffekt og overlyshastighed

Forfattere: *Günter Nimtz* og *Astrid Haibel*. Wiley 2008. "Zero Time Space – How Quantum Tunneling Broke the Light Speed Barrier", 150 sider, 25 euro (ca. 190 kr.). <http://www.wiley-vch.de>.

I 1994 sendte den tyske fysiker Günter Nimtz "Mozarts symfoni nr. 40" via mikrobølger igennem en tunnelbarriere med en hastighed på 4,7 gange lysets hastighed i vakuum. Påstanden blev mødt af kritik da – ingen information kan transporteres hurtigere end lysets hastighed. Nimtz svarede kækt, at 'det kan godt være at Mozart ikke er information for engelsktalende personer, men for en tysker er det!'

Bogen, der er skrevet af Nimtz og hans ph.d.-studerende, giver en oversigt over tunnelfænomener i optik, kerne- og faststoffysik. F.eks. elektroners bevægelse gennem båndgabet i halvledere. Med et historisk perspektiv behandles relevante dele af fysikken på et grundlæggende niveau. For en fysiker virker det ofte velkendt, men bogen er også skrevet for et mere populært publikum.

Tunneleffekten har været kendt siden opdagelsen og forklaringen af alfa-henfald i 1926-28. Senere teori viste, at 'tunnel-tiden' var imaginær og derfor ikke kunne måles. Det var dette Nimtz forsøgte at måle eksperimentelt. Hvordan sker det? I tunnelprocessen omsættes en foton til en 'virtuel foton', med negativ energi, som ikke bruger nogen tid på at passere gennem barrieren. Kun ved overgangene ind og ud af barrieren bruges der lidt tid og derfor bliver den effektive hastighed 'kun' nogle få gange lysets hastighed, men denne faktor kan i princippet øges.

Bogen anfører flere forhold der gør, at hastigheder over lysets hastighed derfor kan lade sig gøre: Tunnelprocessen er en del af kvantemekanikken og kan ikke beskrives af speciel relativitetsteori (som gælder for vakuum) og overlyshastighedssignaler bryder ikke med 'primitiv kausalitet', der blot siger at effekten ikke kan komme før årsagen. Desuden skal man være omhyggelig med definitionen af hastigheden af signalet. Forfatterne påstår ikke, at deres forsøg kan bruges til at foretage tidsrejser, men de får forklaret deres opsigtsvækkende forsøg ved hjælp af en masse fysik.

Michael Cramer Andersen

Stjernehimlen

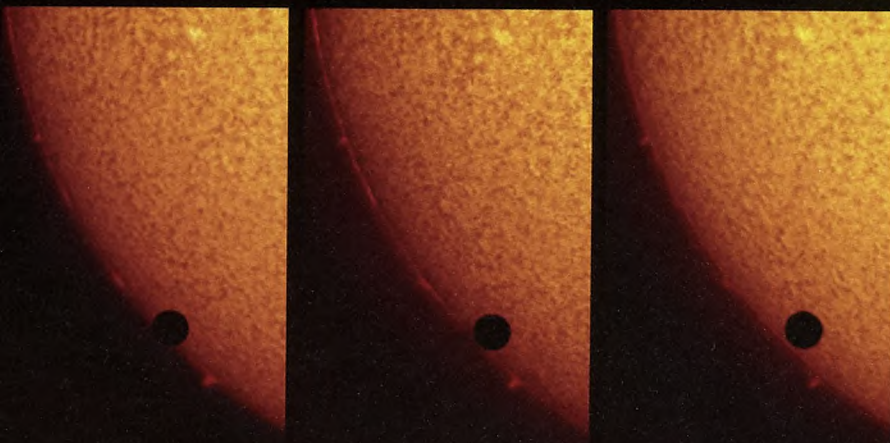
Himlen er fuld af action - her er nogle eksempler der varer fra en brøkdel af et sekund til flere timer.



Stjernesud, varighed 0.1 sekund



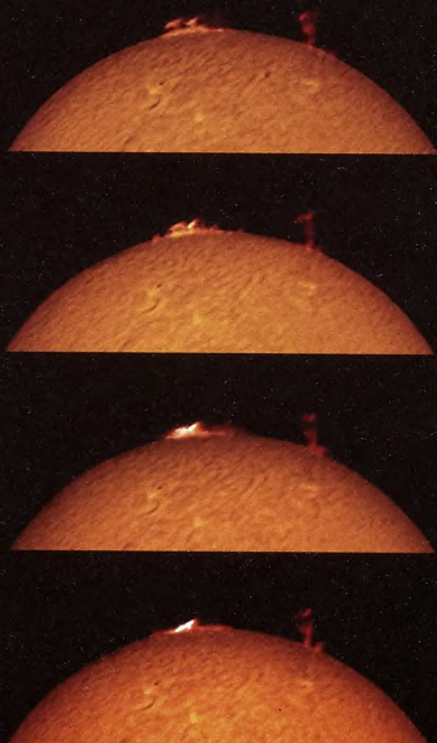
Saturn okkulteres af Månen, varighed: 3 minutter



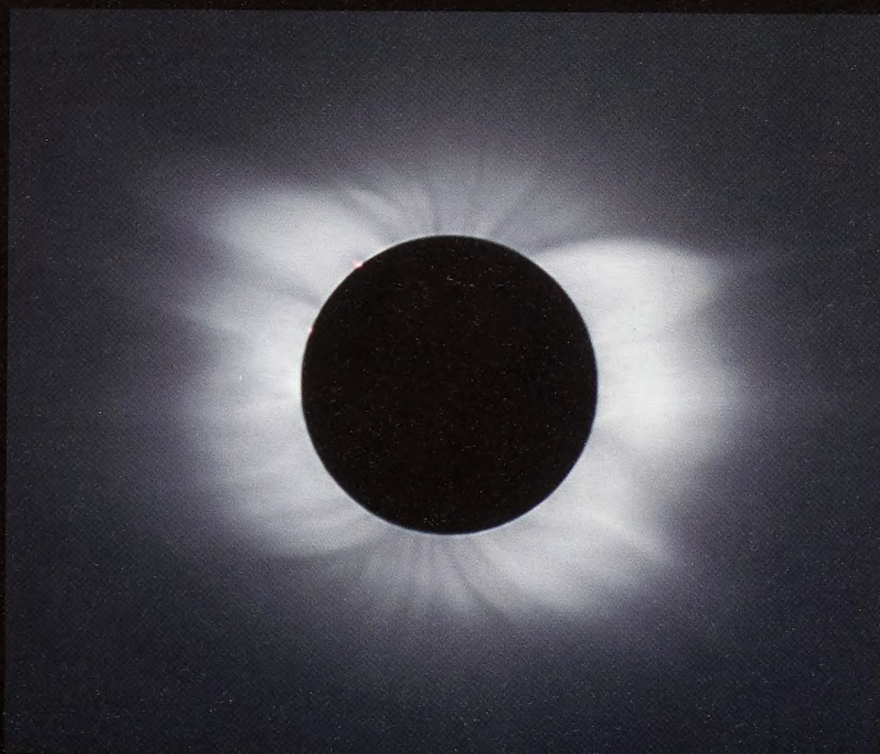
Venus transit henover Solen, varighed: 3 timer



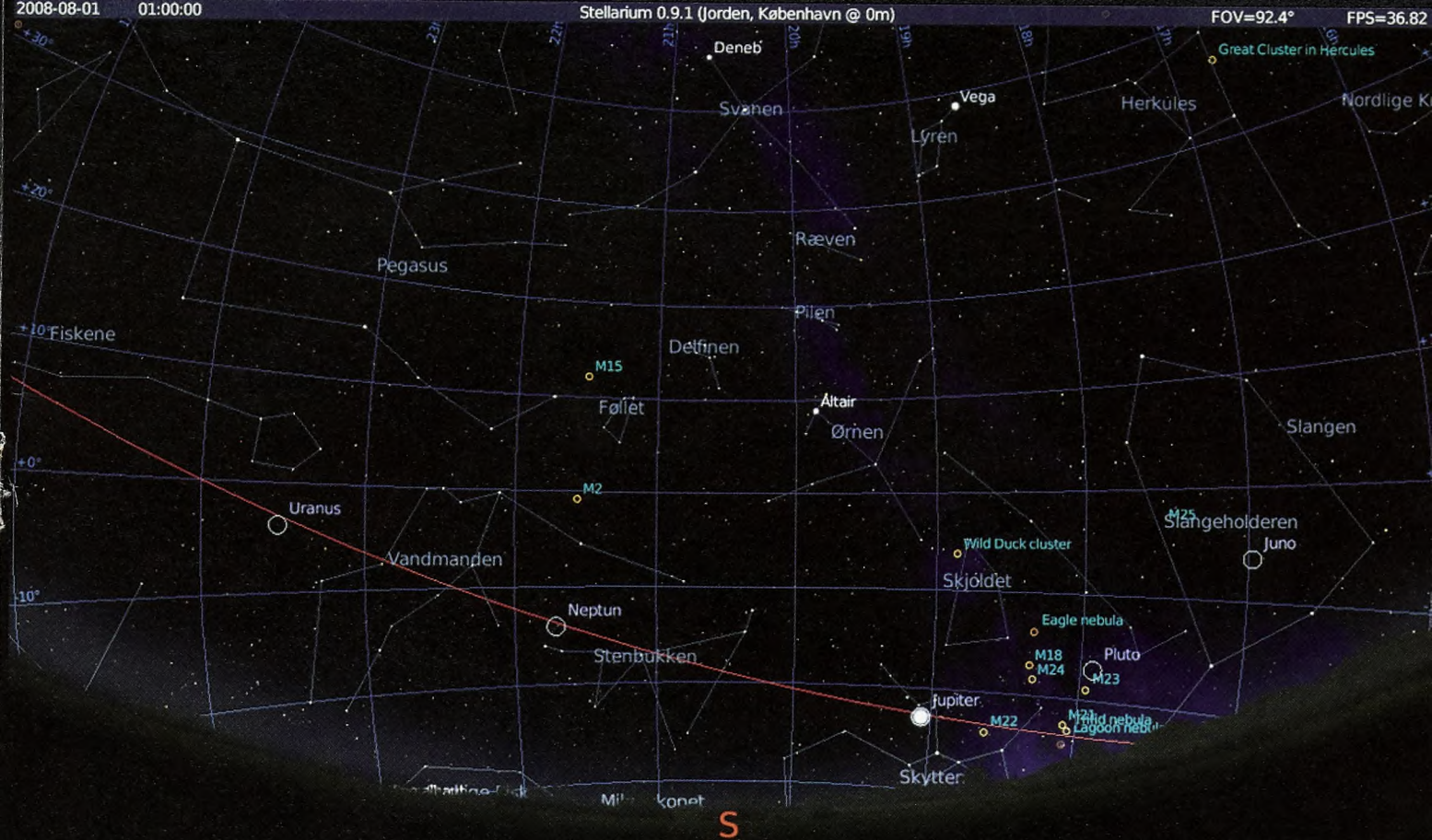
Total måneformørkelse, varighed: 1 time



Soludbrud, varighed: 1 time



Total solformørkelse, varighed: 4 minutter



Stjernehimlen mod syd den 1/8 kl. 01.00

Månens faser:

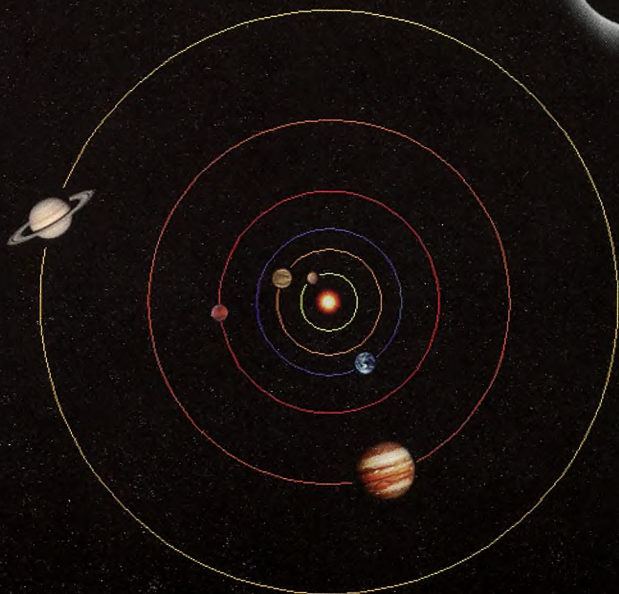


Astronomiske begivenheder:

- 21/6 Sommersolhverv.
- 4/7 Jorden længst væk fra Solen, 152,1 mio. km.
- 1/8 Total solformørkelse (kun 27 % i Danmark).
- 12/8 Stjerneskuksværmen Perseiderne kulminerer.
- 16/8 Partiel måneformørkelse (starter kl. 21.35).

De første 6 planeter ca. 1. august:

- Sommersolhverv mod bunden
- Bevægelse mod uret



Planeterne:

Merkur har bevæget sig foran Solen med største vestlige elongation den 1/7, hvorefter den bevæger sig bag Solen (konjunktion 29/7).

Venus kommer frem igen efter at have været bag Solen (konjunktion 9/6) og vil kunne anes på morgenhimlen omkring solopgang. Den ses bedre sidst på året.

Mars, der ses mod vest i stjernebilledet Tvillingerne, forsvinder i juli og vil først blive synlig igen i 2009.

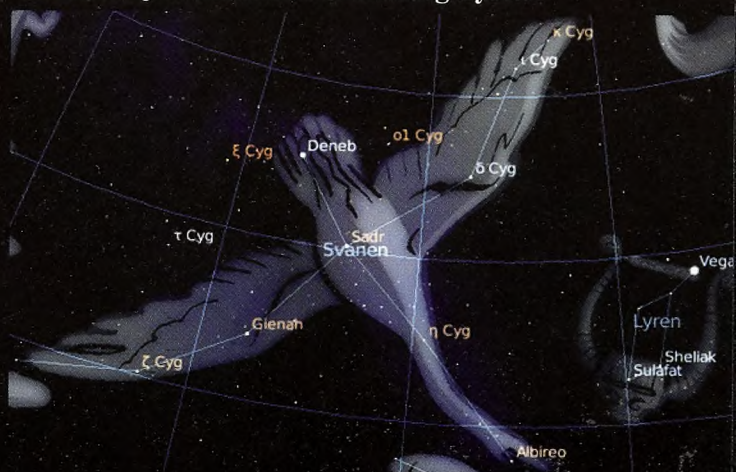
Jupiter står lavt på himlen i stjernebilledet Skytten om aftenen efter opposition (9/7).

Saturn, der er i stjernebilledet Løven, kan ses om aftenen indtil august hvor den nærmer sig konjunktion (4/9) med Solen.

Uranus er imellem Fiskene og Vandmanden, hvor den kan ses om morgenen indtil opposition (7/9) og derefter om aftenen.

Neptun er imellem Vandmanden og Stenbukken, hvor den kan ses med teleskop om aftenen indtil opposition (15/8) og derefter om morgenen.

Aktuelle stjernebilleder: Svanen og Lyren



Bose Einstein Kondensation i atomare gasser – Når atomer bliver til kvantebølger

Af Kasper T. Therkildsen og Jan W. Thomsen, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

En gas af atomer, der køles ned til næsten det absolutte nulpunkt opnår helt specielle kvanteegenskaber afhængig af atomernes spin (angulære moment). Atomer med heltalligt spin, såkaldte bosoner, vil ved meget lave temperaturer, typisk nogle få hundrede nanokelvin, smelte sammen til en ny tilstandsform man kalder et Bose-Einstein-Kondensat (BEC). I denne tilstandsform træder atomernes bølgenatur i karakter og giver forskere helt nye værktøjer til studier af kvantefænomener relateret til mange forskellige grene af fysikken.

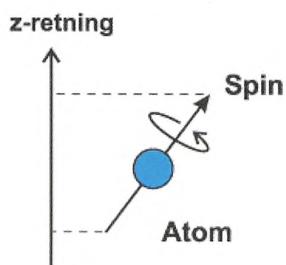
Indledning

Helt tilbage i 1924 udviklede en indisk fysiker ved navn Satyendra Nath Bose en statistisk teori for hvordan masseløse lyspartikler vil opføre sig. Han sendte sit arbejde til Albert Einstein, der straks så konsekvenserne af Boses geniale arbejde og udvidede teorien til også at omfatte massive partikler som f.eks. atomer.

Boks 1: Kvantestatistik – Bosoner vs. fermioner

I kvantemekanikken har partikler et kvantiseret impulsmoment (angulært moment) der kaldes spin. Spinnets størrelse kan antage værdier givet ved:

$$S = \frac{h}{2\pi} \sqrt{s(s+1)}, \quad s = 0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, \dots$$



hvor h er Plancks konstant $6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s. Længs en vilkårlig retning i rummet, f.eks. z -retningen, kan projektionen kun antage værdierne $(-s, -s+1, \dots, s-1, s)h/2\pi$. I kvantefysik deles partikler op efter om de har halvtalligt eller heltalligt spin s . Partikler med halvtalligt spin kaldes fermioner, som f.eks. elektronen eller protonen ($s = 1/2$). Partikler med heltalligt spin kaldes bosoner, f.eks. ^1H ($s = 1$), som er sammensat af to fermioner. Eksempler blandt neutrale atomer (sammensat af halvtallige fermioner) er ^4He , ^{23}Na , og ^{87}Rb , som er bosoner, mens f.eks. ^3He og ^6Li er fermioner.

En af konsekvenserne af Bose og Einsteins arbejde er, at atomer med heltalligt spin spontant kan klumpe sig sammen, eller snarere kondensere, i systemets laveste energitilstand, hvis blot temperaturen er lav

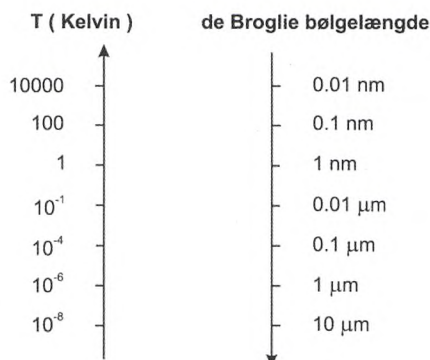
nok. I den laveste energitilstand vil hastigheden have et minimum, hvor atomerne praktisk talt ligger helt stille. BEC er altså en kondensation i hastighedsrummet. Chansen for at et atom stimuleres ned i den laveste energitilstand under afkølingsprocessen er faktisk proportional med $(n+1)$, hvor n er antallet der allerede befinder sig i laveste energitilstand. Denne egenskab er meget karakteristisk for bosoner og genfindes i f.eks. stimuleret absorption og emission, der danner grundlag for laseren. Under afkølingsprocessen går det således hurtigere og hurtigere med at få atomer kondenseret og man taler om en slags "lavine effekt" som oftest omtales "run away process".

Boks 2: de Broglie-bølgelængde

Bølgelængden λ af en partikel er givet ved $\lambda = h/p$, hvor impulsen p er lig produktet af hastighed og masse, $p = m \cdot v$. Bølgelængden er omvendt proportional med impulsen, dvs. jo lavere hastighed jo større bølgelængde.



$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

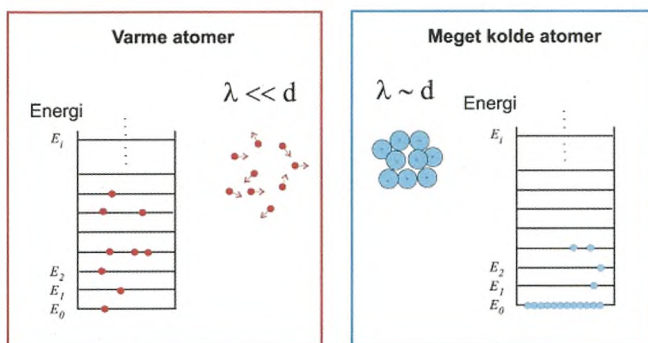


Omtrentlige de Broglie-bølgelængder for partikler med masse som brintatomer, når de danner en gas med de viste temperaturer. Ved daglige temperaturer er de Broglie-bølgelængden langt under en nanometer (10^{-9} m).

Ifølge kvantemekanikken kan massive partikler tilskrives en bølgenatur. Louis de Broglie indførte i 1924 den meget kontroversielle idé, at massive partikler kan beskrives med bølger (se boks 2). Typisk er de Broglie-bølgelængden for makroskopiske legemer meget lille, af størrelsesordenen picometer eller mindre. For kolde atomer kan den antage værdier i mikrometer området.

Bose-Einstein-kondensation

Bose-Einstein-kondensation opstår ved ekstremt lave temperaturer, netop når atomernes de Broglie-bølgelængde bliver sammenlignelig med deres indbyrdes afstand, se figur 1. Typiske temperaturer er omkring 300 nanokelvin, dvs. 300 milliardtedele af en grad over det absolutte nulpunkt ($-273,15^\circ \text{C}$). Atomernes indbyrdes afstand er bestemt af densiteten, så umiddelbart skulle man tro at en meget høj densitet er ønskelig. Desværre vekselvirker atomerne for meget ved høje densiteter og disse effekter overskygger fuldstændigt BEC-fænomenet. Flydende helium var det første system, hvor man på indirekte vis kunne påvise BEC og nogle af de forunderlige fænomener, der er forbundet med denne tilstandsform. Men der skulle gå 71 år efter Bose og Einsteins forudsigelser før fysikere var i stand til at producere BEC og direkte undersøge dets egenskaber. For dette arbejde modtog de tre amerikanske fysikere C. Wieman, E. Cornell og W. Ketterle nobelprisen i fysik i 2001.



Figur 1. Figur 2. Atomer fanget i en fælde har kvantiserede energier $E_0, E_1, E_2, \dots, E_i, \dots$. Ved almindelige temperaturer (t.v.) er gassens atomer fordelt på mange forskellige energiniveauer, stige-trin. Er temperaturen tilstrækkelig lav (t.h.) kondenseres atomerne i den laveste energitilstand E_0 .

Bose-Einstein-kondensation (se figur 1) indtræder, når de Broglie-bølgelængden bliver sammenlignelig med middelfastheden d mellem atomerne. Den kvantemekaniske sandsynlighed for at finde en bose-partikel med energien E_i , dvs. på stige-trin i , ved temperaturen T er givet ved Bose og Einsteins formel:

$$n(i) = \frac{1}{e^{(E_i - \mu)/kT} - 1} \quad (1)$$

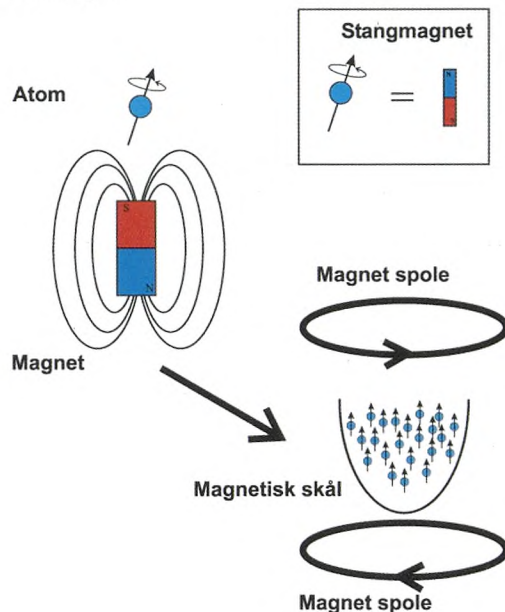
hvor μ er det kemiske potential, der beskriver hvor meget energi det koster at fjerne en partikel fra fælden.

Hvordan opnås temperaturer i nK-området?

Der skal en helt speciel type fryser til at stoppe atomernes bevægelse og køle dem ned til nanokelvin-temperaturer. Konventionelle metoder, der benytter kompressorer, mekaniske beholdere og lignende kan ikke anvendes. Dels fordi temperaturen man her opnår kun er i millikelvin-området, og dels fordi de atomer man benytter, hurtigt vil sætte sig fast på siden af beholderen. Helt andre teknikker må tages i brug. Nedkøling udføres normalt i to trin. Det første trin involverer laserkøling af atomerne til ca. 100 mikrokkelvin eller mindre. Derefter overføres atomerne til en magnetisk fælde. Atomer med et spin opfører sig som små stangmagneter, der kan fanges i snedigt designede magnetfelter, som udgør en magnetisk fælde.

Boks 3: Magnetiske fælder for atomer

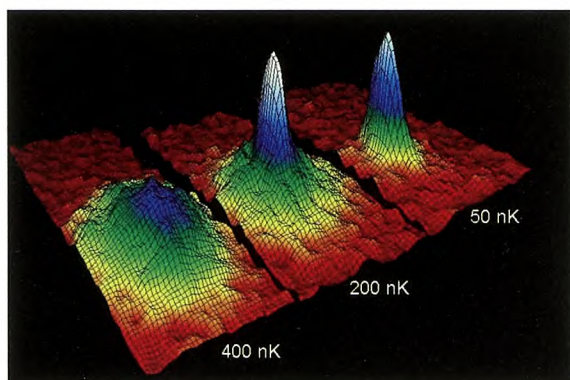
Atomer med et spin opfører sig som små stangmagneter, der roterer om deres egen akse. Man siger de har et magnetisk moment, der bestemmer styrken af stangmagneten. Ved at overlappes magnetfeltet fra to eller flere spoler kan atomer med et magnetisk moment fanges i en usynlig fælde. Der kræves kraftige magnetfelter idet atomernes magnetiske momenter er meget små. Typiske strømme er flere hundrede ampere og giver en del tekniske udfordringer.



Varme atomer har høj bevægelsesenergi og befinder sig højt oppe i fælden, kolde atomer tættere ved bunden, se boks 3. Man kan selektivt vende de atomare stangmagneter med radiofrekvensfotoner. Frekvensen af fotonerne, typisk mellem 0,5 og 100 MHz, bestemmer hvor i fælden man vender atomets spin, dvs. stangmagneten. Straks efter forlader atomet fælden, idet det ikke er fanget mere. Man starter med høje radiofrekvenser, der vender spinnets på de varme atomer og tuner derefter frekvensen langsomt til mindre og mindre værdier. På

den måde skummer man de varme atomer af og beholder de koldeste. Sammenstød mellem de tilbageblevne atomer sikrer hurtig termalisering til lavere og lavere temperaturer. Denne proces tager typisk 50 sekunder afhængig af startdensitet og -temperatur.

Når temperaturen når den kritiske værdi af ca. 300 nanokelvin, hvor atomernes indbyrdes afstand er sammenlignelig med deres de Broglie-bølgelængde, begynder de at kondensere i den laveste energitilstand. Den effekt kan observeres ved at måle atomernes temperatur. Typisk udføres dette ved at slukke for magnetfælden og løslade atomerne i fri bevægelse et stykke tid, omkring 30 millisekunder, hvorefter et billede af atomernes skygge tages med en kort laserpuls. Stedfordelingen af atomerne afslører deres temperatur. Kolde atomer vil ikke have bevæget sig langt og fordeler sig i centeret, mens de varme, hurtige atomer har bevæget sig væk fra centeret. På figur 2 er vist et sådant billede som funktion af temperaturen.



Figur 2. Billede af atomernes hastighedsfordeling ved tre forskellige temperaturer. (a) 400 nK: gassen beskrives ved termisk fordeling hvor atomerne er fordelt på mange forskellige energiniveauer i fælden, se figur 1. (b) 200 nK: en del af atomerne er kondenseret til den laveste energitilstand karakteriseret ved asymmetriske spidse fordeling. (c) 50 nK: alle atomer er kondenseret i den laveste energitilstand. Dette viser de første BEC frembragt i Rb atomer ved JILA, University of Colorado, 1995.

Den asymmetriske spidse fordeling vist på figur 2 er faktisk et direkte billede af Heisenbergs ubestemtheds relation for impuls og sted. Atomerne i fælden er oprindeligt fastholdt i en asymmetrisk meget langstrakt fælde. Når atomerne frigives for at måle deres hastighed vil ubestemtheden i hastigheden i den ene retning være væsentlig større sammenlignet med retningen vinkelret på. Derfor fremkommer den meget asymmetriske hastighedsfordeling set på figur 2.

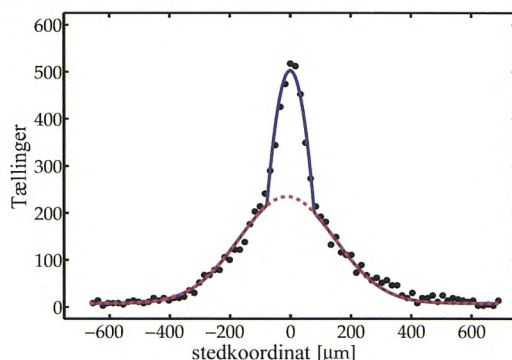
I W. Ketterles laboratorium ved MIT, Boston har man opnået en rekordlav temperatur på ca. 500 picokelvin. Det er den laveste temperatur nogensinde observeret af frie atomer og det udgør måske det koldeste sted i Universet. Tekniske begrænsninger som vibrationer sætter den nedre grænse for hvor kolde atomer der kan fremstilles i laboratoriet.

Studier med kolde kvantegasser

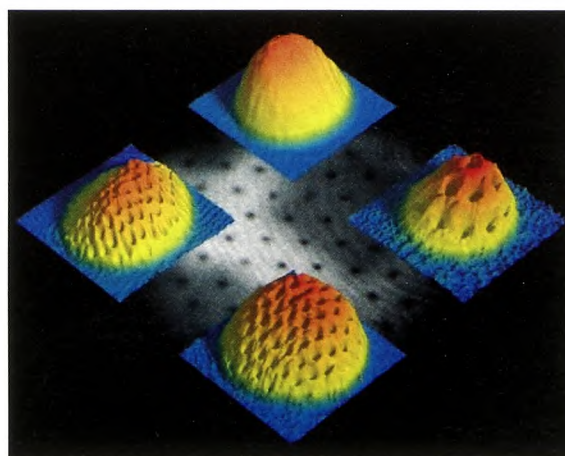
Realiseringen af BEC i kolde atomgasser har medført en revolution af kolde atomers fysik og tilført en række nye

muligheder for detaljerede studier af bose- og fermi-kvantegasser. Den grundlæggende fysik kan genfindes i mange forskellige grene af fysikken, men kan vanskeligt dyrkes i den rene form kvantegasserne tillader.

En af de helt unikke egenskaber ved BEC tilstanden er at den har superflydende væskeegenskaber. En superflydende væske kan flyde uden modstand ligesom elektroner i en superleder kan bevæge sig uden modstand. Superflydende væsker kan klart skelnes fra almindelige væsker blot ved at sætte dem i rotation. En normal væske roterer ligesom et fast stof, men en superflydende væske kan kun rotere, hvis der dannes små vortex (hvirvler) i væsken, en slags små minitornadoer. Det fascinerende er, at i en given radius fra vortex centeret er kun ganske bestemte rotationshastigheder tilladte. Der er en minimal hastighed samt et helt antal gange den minimale værdi. Ingen rotationshastigheder imellem er tilladt! Ved hjælp af laserlys som blandedpind har man kunne sætte et superflydende BEC i rotation. På figur 4 ses et skyggebillede af et superflydende BEC i rotation. De små mini-tornadoer ses klart som mørke huller på skyggebilledet af atomskyggen.



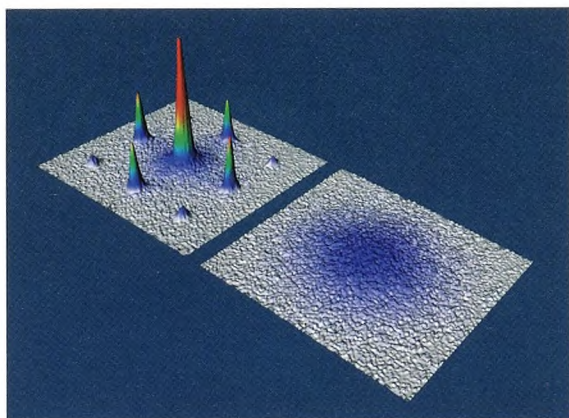
Figur 3. BEC i natriumatomer opnået på Niels Bohr Institutet, som det femte laboratorium i verden. Bemærk den dobbelte hastighedsfordeling, spidsen angivet med blå stammer fra atomer i laveste energitilstand (BEC), mens den brede røde fordeling er termiske atomer fordelt på mange forskellige energiniveauer (ikke BEC). Denne form er et karakteristisk fingeraftryk for BEC tilstanden.



Figur 4. Billedet viser kvante-vortex-formation i et BEC af natriumatomer frembragt ved MIT. Kondensatet var 60 mikrometer i diameter og 250 mikrometer i længden. Det blev sat i rotation af et roterende laserlys brugt som blandedpind. De fire eksempler viser eksperimenter der har henholdsvis 0, 16, 70 og 130 vortex-formationer.

Fermioner kan også bliver superflydende under specielle omstændigheder. For at det skal kunne ske skal de "gå sammen" to og to for på den måde at danne en boson. Ved at køle en gas bestående af ^6Li (fermioner) og kontrollere deres indbyrdes vekselvirkning har man for nylig observeret en fermion-superflydende tilstand. Netop denne type eksperimenter med fermioner har tiltrukket sig stor interesse, idet disse systemer opfører sig som elektronerne i en superleder. Her går to elektroner som modsatrettet spin sammen og danner par - de såkaldte "Cooper-par". Den superflydende tilstand af disse par bestemmer så materialeegenskaber såsom den elektriske ledningsevne uden modstand. Det er et vigtigt gennembrud at disse systemer nu kan studeres i atomfysiske eksperimenter, hvor mange forskellige parametre kan varieres med stor nøjagtighed.

En stående bølge frembragt af laserlys overlejret et BEC kan frembringe et periodisk potential for atomerne. Dybden af potentialet kan varieres ved at ændre på lysintensiteten. Anvendes tre ortogonale stråler frembringes et gitter, et såkaldt optisk gitter, af små optiske fælder, hvor atomerne kan fanges. Tænk på en æggebakke, hvor æggene er udskiftet med atomer. Hvis atomerne frastøder hinanden, er det muligt at fremtvinge to forskellige tilstande af de kolde atomer. I det første tilfælde er fælden ikke voldsom dyb og atomerne har bølgenatur, hvor de kan bevæge sig frit omkring, indtil en vis kritisk hastighed. Her er fasen af den totale atombølge bevaret (veldefineret) og systemet opfører sig som en superflydende væske. Det andet tilfælde er karakteriseret ved en stærk frastødende vekselvirkning mellem atomerne og en dybere optisk fælde. Her vil der fortrinsvis kun sidde ét atom per optisk fælde svarende til ét æg per plads. Bevægelsen fra en plads til en anden er blokeret af atomernes stærke repulsive vekselvirkning. Derfor kalder man denne tilstand for en Mott isolator (Nevill Mott). I denne tilstand har atomerne mistet deres bølgenatur og opfører sig nu som partikler, hver med sin tilfældige fase.



Figur 5. Skyggebillede af atomer i den superflydende fase (venstre) og Mott-isolatorfasen (højre) første gang observeret ved Mainz Universitetet i Tyskland. Bemærk interferensen mellem atombølgerne, der giver det karakteristiske billede vist til venstre. Til højre er fasen tilfældig hvilket udvasker interferensmønstret.

I den superflydende tilstand har atomerne en kohærent bølgenatur. Ved at slukke for det periodiske potential, blot ved at slukke lyset, vil alle de små fælder virke som kohærente atomkilder der nu kan interferere. Dette interferensmønster kan observeres ved at optage et skyggebillede af atomerne. I Mott-isolator tilfældet er dette interferensmønster fuldstændigt tabt idet fasen er tilfældig.

I faste stoffer ses Mott-isolator overgangen også. Her er det elektroner, der oplever et periodisk potential skabt af atomer, der sidder i bestemte krystalstrukturer. Den repulsive vekselvirkning er Coulomb-frastødningen mellem elektronerne. For kolde atomer i optiske gitter kan man få fuldstændig kontrol over det periodiske potential og atomernes vekselvirkning. Man kan derfor langsomt, og endda reversibelt, tune frem og tilbage fra den superflydende fase til Mott-isolator fasen. Dette illustrerer en af de mange fordele ved detaljerede studier af denne art.

Den fysiske forståelse af kvantegasser har været accelereret i de sidste år. Her bidrager Danmark med både eksperimenter og teori. Ved Niels Bohr Institutet er der et teoretisk center og to eksperimenter, det ene med BEC i natrium det andet med BEC i rubidium. Ved Århus Universitet er der en eksperimentel aktivitet med BEC i rubidium og ligeledes et teoretisk center.

Litteratur

- [1] Nobelforelæsninger, links fra http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2001/press.html
- [2] <http://www.colorado.edu/physics/2000/bec/>
- [3] J.R. Abo-Shaeer, C. Raman, J.M. Vogels, and W. Ketterle (2001), Observation of Vortex Lattices in Bose-Einstein Condensates. *Science* **292**, 476-479.



Kasper T. Therkildsen,
ph.d-studerende ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, arbejder til dagligt med kolde magnesium-, natrium- og rubidiumatomer.



Jan W. Thomsen, lektor ved Niels Bohr Institutet, forsker i kolde og ultrakolde atomer og deres anvendelser.

Fast brint – Universets mærkeligste stof

Af Jørgen Schou, DTU Fotonik, Risø Campus.

Kan man forestille sig et fast stof, der er så flygtigt, at det ikke findes i selv de koldeste interstellare, tætte skyer? Et stof, der kun kan eksistere i vakuum ved nogle få grader kelvin, og som alligevel skydes ind i de varmeste eksperimenter i fusionsenergi, og et stof, der kan bringe store accelerator eksperimenter i katastrofale vanskeligheder?

Indledning

Stoffet er fast brint, der først gang blev bragt i fast form i 1899 af James Dewar, der også er kendt for den beholder til opbevaring af kolde væsker, som han lagde navn til, en Dewar-beholder [1]. Ironisk nok blev fast brint kondenseret ud fra afkøling af brint i hans egen kølemaskine uden brug af flydende helium, da det på dette tidspunkt var vanskeligt at skaffe tilstrækkelige mængder af heliumgas.



Figur 1. James Dewar (1842-1923) var skotsk kemiker og fysiker.

Brint i sig selv er Universets mest almindelige grundstof, men da det er så flygtigt, havde man ikke før flydende helium kunne håndteres som kølemiddel, nogen realistisk chance for rutinemæssigt at kondensere brint. Skal brint lægges på en flade til overfladeundersøgelser i vakuum, skal fladen ned på en temperatur omkring 2,5 K. Det kræver typisk at det flydende helium pumpes ned til 20-50 mbar, hvilket gør nedkølingsprocessen endnu vanskeligere. Faktisk har de fleste fysikere, der arbejder med fast brint, aldrig eller sjældent set selve stoffet, da det må beskyttes bag strålingsskærme, så at den termiske stråling fra omgivelserne ikke får stoffet til at fordampe. Brint findes i tre isotoper, H med kerne af en proton (vi kalder det her hydrogen for at skelne det fra fællesbegrebet, brint, af alle brintisotoper), deuterium D med kerne af en proton og en neutron, og Tritium T, der i øvrigt er radioaktivt med en halveringstid på 12,3 år, med en kerne af en proton og to neutroner (se tabel 1). Da atomar brint lynhurtigt forener sig med et andet atom til et brintmolekyle, har vi altså seks kombinationer af forskellige molekyler.

Isotop af brint (symbol)	Hydrogen (H)	Deuterium (D)	Tritium (T)
Atomar masse (amu)	1,008	2,014	3,016
Forekomst (relativt til H)	1	0,00015	Radioaktiv Halveringstid = 12,3 år

Tabel 1. Brintisotoper.

Molekyle	H ₂	HD	D ₂
Molekylær masse (amu)	2,016	3,021	4,028
Triplepunkt temperatur (K)	13,96	16,6	18,7
Bindingsenergi/molekyle i det faste stof (meV/molekyle)	8,65	10,8	12,65
Sublimationstryk ved 2,7 K (mbar)	$2,0 \cdot 10^{-12}$	$6,0 \cdot 10^{-16}$	$1,7 \cdot 10^{-19}$
Massetæthed ved 0 K (g/cm ³)	0,089	0,14	0,20

Tabel 2. Stabile molekyl-kombinationer, fra [4]. Triplepunktet er temperaturen (og trykket), hvor stoffet i ligevægt eksisterer både som gas, væske og fast stof. For vand er triplepunkt temperaturen 273,16 K og 0,01° C. 1 meV = 0,001 eV = $1,60 \cdot 10^{-19}$ J.



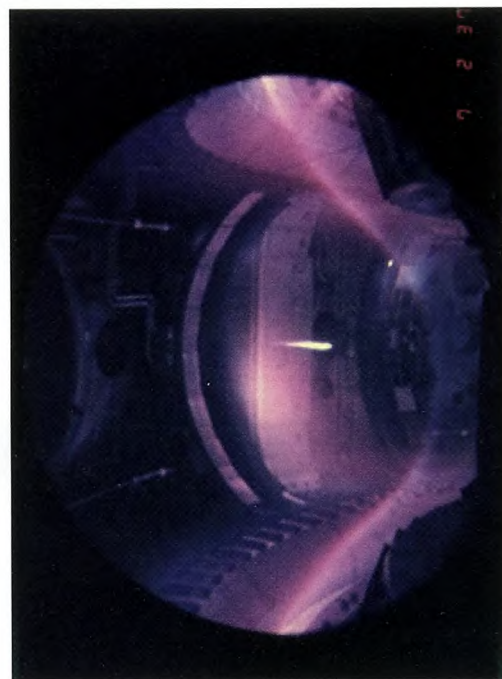
Figur 3. Verdens længste vakuumkammer (med et tryk på under 10^{-12} mbar) har en omkreds på 27 km. Røret i midten indeholder et indre rør for protonstrømmen på 7 TeV, der holdes på plads af superledende magneter med en temperatur på 1,9 K [3].

Alle egenskaber, som er bestemt af elektronstrukturen, dvs. de kemiske og optiske egenskaber, er praktisk talt ens for alle brintmolekyler, men alt hvad der har med massen at gøre, afhænger stærkt af den specielle isotop kombination. I øvrigt blev deuterium først entydigt påvist af den amerikanske kemiker Harold Urey, som for dette arbejde fik Nobelprisen i kemi 1934. Urey kaldte så den nye isotop for deuterium, inspireret af de græske og latinske ord for "to", svarende til et brintatom med massetallet 2 [2]. Vi har så at gøre med det faste stof med de største forskelle fra den ene til den anden isotopkombination. De molekyllære faste stoffer H_2 , D_2 og HD har for eksempel så vidt forskellige krystalstruktur, smeltepunkter og kondenseringstemperatur i vakuum (tabel 2), og består alle af molekyler, der er ordnet i et gitter.

Da molekylerne kan rotere selv, når de sidder i gitteret, afhænger krystalstrukturen af hvor hurtigt molekylet roterer, dvs. med hvilket kvantetal rotationen er beskrevet. Brintmolekylet H_2 er så let, at det på grund af Heisenbergs usikkerhedsrelationer kun vanskeligt kan fastholdes på en given gitterplads i krystallen, og denne såkaldte nulpunktsenergi gør den allerede svage bindingsenergi mellem molekylerne i den faste form endnu mindre. De ca. 9 meV, hvormed et H_2 -molekyle er bundet til det faste stof er ca. 50 gange mindre end den energi, hvormed et vandmolekyle er bundet til is. Umiddelbart er der også kun en faktor 1,5 mellem bindingsenergien i fast H_2 og fast D_2 , men da bindingsenergien indgår eksponentielt i fordampningstrykket – her er det så sublimationstrykket, da det foregår fra et fast stof – er der 7 størrelsesordeners forskel i tryk for isotopkombinationer af samme element. Det er i sandhed en utrolig forskel for det samme grundstof!

De koldeste og mest flygtige piller skydes ind i det "varmeste" eksperiment

Små piller af fast brint er efterhånden blevet en vigtig ingrediens i fusionseksperimenter, der på lang sigt skal gøre menneskeheden uafhængig af fossile brændstoffer. På alle eksisterende store fusionseksperimenter, f.eks. JET (Joint European Torus), kan der mangle brintkerner i centrum af plasmaet, så fusionsprocesserne går i stå, eller man kan blot ønske at hæve tætheden i centrum af plasmaet. En umiddelbar løsning var at omgive plasmaet med brintgas, men gassen diffunderer simpelthen ikke ind i plasmaet.



Figur 2. Pilleindskydning i fusionsplasma ved eksperimentet ASDEX i Garching ved München. Man ser den vandrette hvide stribe, der er et lysende brintspor fra pillen indskudt fra den ene side. Pillehastighederne i det pågældende eksperiment varierede fra 240 til 1200 m/s og pille massen fra 0,5 til 1,2 mg D_2 .

Da idéen om at skyde piller af fast brint ind i plasmaet i fusionseksperimenter, kom frem i 1960'erne, troede ingen lavtemperatur- eller plasmafysikere på at det ville være muligt. Dels er det ikke ligetil at fremstille piller af det flygtige brint og dels skulle pillerne skydes ind med en hastighed på mange km i sekundet. Endeligt forventede man, at så snart plasmapartiklerne i udkanten af plasmaet ramte pillen, ville den gå i stykker eller fordampe! Men virkeligheden viste sig at være anderledes. Så snart den hurtige pille trænger ind i plasmaet, bliver den omgivet af en sky af fordampet brint, der beskytter pillen. Resultater fra fusionseksperimenter viser, at piller på 0,1g kan trænge 20-30 cm ind i plasmaet (se figur 2), og både fremstillingen såvel som indskydningen fungerer nu rutinemæssigt ved alle store plasmaeksperimenter. Der er således også planlagt pilleindskydning ved det kommende internationale fusionseksperiment ITER. Vi er så ved at komme i den paradoksale situation, at det mest flygtige faste stof skydes ind i det varmeste eksisterende eksperiment.

Det mest ødelæggende stof for LHCs vakuum

Modsat fusionsplasma eksperimenter, hvor fast brint fungerer som "ekstra brændstof" i plasmakernen, er fast brint et farligt stof for vakuummet i verdens største menneskabte eksperiment, Large Hadron Collider (LHC) på CERN [3]. I LHC sendes stråler af protoner af sted med en energi på 7 TeV i en ring med omkreds ca. 27 km. Denne protonstråle, der bevæger sig med en hastighed lige under lysets, holdes på plads af et magnetfelt fra superledende magneter, der skal være på ca. 2 K for at give et tilstrækkeligt stærkt felt. Protonstrålernes gennemløb forstyrres af restgasser i vakuumkammeret, der holdes på 10^{-12} mbar – en teknologisk bedrift uden lige at have et så godt vakuum i en så stor ring.

Restgasser er typisk vand- og brintmolekyler. Brint er normalt den sværeste gas at få pumpet ud, da molekylerne bevæger sig med stor hastighed. I de sektioner af vakuumkammeret, der har termisk forbindelse til afkølede supermagneter, kan der komme kolde flader i kontakt med vakuummet. Nøjagtigt som vandmolekyler sætter sig på en kold forrude på en bil som is en vintermorgen, kan fast brint også kondensere på en kold flade. Det ville under andre omstændigheder blot virke som et kryopanel og ekstra "pumpekraft", men da fast brint er utroligt flygtigt, kan en enkelt vildfaren elektron eller proton frigøre mere end 10^3 brintmolekyler ved at ramme laget af fast brint. Bindingsenergien i fast brint er jo ca. 50 gange mindre end for is, og dermed er vakuummet i langt højere grad truet af flader med fast brint end med is. Her er det brints flygtighed, der er den afgørende faktor. I praksis er strategien derfor at have et vakuum, der er så godt som muligt, og samtidigt med at man har så få kolde flader, der kan være udsat for stråling, som muligt.

Litteratur

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/James_Dewar
- [2] <http://en.wikipedia.org/wiki/Deuterium>
- [3] <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHC-en.html>
- [4] "Hydrogen Properties for Fusion Energy", P. Clark Souers, University of California Press, 1986.



Jørgen Schou, dr. scient. Ansæt ved DTU Fotonik, Risø Campus. Arbejder med intens laserbestråling af overflader, bl.a. for at lave tyndfilm af nye materialer. Formand for DFS siden 2005.

KVANTE-stigen

– meddelelser om stort og småt

'Kvantestigen' bruges her som overskrift på en spalte der kan rumme stort og småt f.eks. læserbreve og redaktionelle kommentarer. I fysikken benyttes ordet til at anskueliggøre en lagdeling af kvantefænomener i naturen, hvor de enkelte lag eller trin placeres efter deres karakteristiske energi.

Kommentar til "Mørkets hastighed"

Spørgsmålet om 'mørkets hastighed' i forhold til lysets blev stillet i KVANT nr. 3, 2007 og diskuteret yderligere i nr. 4. Det har affødt endnu en kommentar fra en læser:

"Man kan ikke sammenligne lys og mørke på den måde. Lys er energi, og man kan sende en lysstråle, men hvis du 'kaster en skygge', er det lyset, du fjerner, og du kan ikke købe mørkebatterier til din stavlygte og sende en mørke- eller skyggestråle. Lys og mørke følges ad og at tale om 'mørkets hastighed' som noget selvstændigt er vrøvl.

Matematiklærerens opstilling med trekanter er i enhver henseende korrekt. Af ovennævnte grunde kan vi undvære skyggen og nøjes med at betragte hans lysplet, og den bevæger sig ganske rigtigt med en overlyshastighed, som endda kan forøges vilkårligt ved at gøre forholdet mellem trekanterne større.

Forklaringen er rørende simpel: En lysplet er ikke en 'ting', som man kan flytte. Der er tale om et synsbedrag. Det eneste, som bevæges er lyskilden, der drejes. Når man mener at se en lysplet flytte sig, dannes der i virkeligheden en NY lysplet (og fjernes en gammel) på det sted hvor lyset fra lyskilden netop ankommer."

Kay Akselbo

Videnskab.dk åbnet

Danmark har fået et nationalt webmedie for videnskab: www.videnskab.dk. Siden har været planlagt igennem nogle år og er inspireret af to lignende sider i Norge og Sverige, der begge har været en succes, bl.a. fordi de har tiltrukket mange unge læsere. Tanken er dels at offentligt støttet forskning skal komme befolkningen til gode og hvis befolkningen bliver bedre informeret om forskning, kan politikerne bedre argumentere for øgede bevillinger til forskning. I sidste ende handler det også om økonomi, idet politikerne håber at forskningen kan anvendes af virksomhederne og derved bidrage til en bedre national økonomi.

Historierne samles bl.a. fra alle landets universiteter og redigeres af en lille gruppe videnskabsjournalister, der også finder historier fra udlandet. To fysikere fra Niels Bohr Institutet, der er på feltarbejde, skriver en blog om det. Det er Morten Bo Madsen, som deltager i Mars-forskningen og isforskeren Jørgen Peder Stefensen, der opbygger en base på Grønland. Det er en fin måde at få personerne bag forskningen frem. Følg selv med på www.videnskab.dk.

Michael Cramer Andersen

Vandrensning med aquaporiner

Af Claus Hélix Nielsen, DTU Fysik, Danmarks Tekniske Universitet og AQUAporin A/S.

Vandrensning og specielt fremstillingen af ultrarent vand er et hastigt voksende område af forskningen indenfor miljøvenlig og bæredygtig udvikling. Den kombinerede effekt af svindende drikkevandsressourcer og et stærkt stigende behov for ultrarent vand til fremstilling af nanoteknologiske produkter gør at vi står overfor store teknologiske udfordringer i produktionen af rent vand på en så effektiv og energibesparende måde som muligt. Imidlertid har naturen selv et elegant bud på hvordan vand renses effektivt. Her belyses hvordan vi kan lade os inspirere af naturens vandrensning til at udvikle en ny og mere effektiv vandrensningsteknologi.

Indledning

Alt vi kender til i hverdagen er på en eller anden måde relateret til vand og vands forunderlige egenskaber. Thales fra Milet, en græsk naturfilosof fra det 7. århundrede før vor tidsregning, gik ganske vist for vidt da han hævdede at *urstoffet* er vand, men med ham begyndte diskussionen af hvad naturen *er*, og han brød således med den forudgående mytiske forståelse af naturen. Den diskussion Thales begyndte, er fortsat i et tæt parløb med praktiske anvendelser, et parløb som ofte har resulteret i teknologiske landvindinger. Den naturvidenskabelige historie er rig på tilfælde hvor grundvidenskab og teknologi har beriget hinanden, og det er da også det udgangspunkt som kendetegner det på én gang grundvidenskabelige og teknologiske arbejde med naturens egne vandrensningsproteiner – aquaporiner – som denne artikel beskriver.

Ifølge FNs udviklingsprogramms industri og miljøcenter (UNEP-IE) findes der på Jorden omkring 1460 Teratons (1 Teraton = 10^{12} ton) vand mest i form af oceaner og søer som dækker 71 % af planetens overflade. Kun 1,6 % findes i vandholdige jordlag og kun 0,001 % i atmosfæren som vanddamp. Denne fordeling afspejler hvor lidt vand der umiddelbart er til rådighed som drikkevand og forsyningsvand til industrielle formål. Et voksent menneske har et væskeindtag svarende til 2-3 liter per døgn. På grund af overbefolkning og forurening mindskes til stadighed mængden af rent vand. Vand er dermed en strategisk ressource som spiller en stigende rolle i politiske

konflikter, og mere end 2 millioner mennesker dør årligt på grund af forurenede vand eller tørke. Selvom vi i Danmark er beriget med drikkevandsressourcer i verdensklasse, øges til stadighed behovet for vandrensning i forbindelse med fremstilling af industrielt vand og drikkevand. Specielt behovet for ultrarent vand er stærkt stigende da eksempelvis halvlederindustrien er storforbruger af ultrarent vand. Det er ikke ualmindeligt for en asiatisk producent af halvledere at producere og anvende mere end 10 millioner liter ultrarent vand per døgn [1] ca. svarende til en promise af verdens samlede drikkevandsbehov!

Produktion af ultrarent vand foregår i dag traditionelt ved en kombination af ionbytning og membran-separation. En ionbytter er et stof, der er i stand til at tiltrække og binde opløste ioner i vand og væsker. Ionbyttere findes i naturen i form af f.eks. kitosan, der er en deacetyleret polymer af polysaccharidet kitin og derfor har frie aminogrupper (kitin udgør hovedbestanddelen af f.eks. insekter og skaldyrs eksoskeletter), men teknisk anvender man ionbyttere som er tilknyttet små polystyrenkugler.

Ionbyttere kan klassificeres som enten kationbyttere eller anionbyttere. Kationbyttere har en negativ ladning og er karakteriseret ved at indeholde et stort antal syregrupper, der binder de positive ioner (kationer), typisk Ca^{2+} , Mg^{2+} samt forskellige valenstrin af Fe, Zn og Cr. Anionbyttere har en positiv ladning (typisk ammoniumioner), der optager anionerne som Cl^- , NO_3^- og SO_4^{2-} .

Kvalitetsparameter	Enhed	Typisk drikkevand	Typisk ultrarent vand i dag
Resistivitet	M Ω -cm	0,004	~18
pH	–	8	6
Organisk kulstof	ppb	3.500	< 10
Ammonium	ppb	300	< 1
Calcium	ppb	22.000	< 1
Magnesium	ppb	4.000	< 1
Kalium	ppb	4.500	< 1
Silikat	ppb	4.780	< 10
Natrium	ppb	29.000	< 1
Klorid	ppb	15.000	< 1
Fluorid	ppb	740	< 1
Sulfat	ppb	42.000	< 1

Tabel 1. Tabellen viser en række vigtige kvalitetsparametre i forbindelse med vandrensning. Forkortelsen 'ppb' angiver antal enheder per milliard molekyler (parts per billion) [2]. Ultrarent vand (pH=7) absorberer let atmosfærisk CO_2 , som derved danner kulsyre. Kulsyren dissocierer til bicarbonat og videre til carbonat hvilket resulterer i en pH på ca. 6 i praksis.

Ionbytning og separation udnyttes i den såkaldte elektro-deioniseringsproces til fremstilling af ultrarent vand [3]. En af måderne hvorpå dette kan foregå er ved at vandet som skal filtreres passerer et kammer med en blandning af kation og anion-byttere som på den ene side er afgrænset af en membran som kun er gennemtrængelig for kationer og på den anden side afgrænset af en membran som kun er gennemtrængelig for anioner. Fuldt ioniserede atomer/molekyler opfanges så i ionbytter blandingen, men da man samtidigt har påtrykt et kraftigt elektrisk felt på tværs over vandstrømmen med to elektrodeplader trækkes de fuldt ioniserede atomer/molekyler ud af ionbytterne gennem de respektive ionselektive membraner hen mod modsat ladede elektrodeplader og dermed væk fra vandstrømmen. Følger vi vandstrømmen vil vi altså opleve at koncentrationen af 'stærke' ioner blive lavere og vandets ledningsevne falder. Det stærke elektriske felt splitter vandet på overfladen af ionbytterne i H_3O^+ - og OH^- -ioner. Disse kan så regenerere ionbytterne så de nu kan ionisere neutrale molekyler så som CO_2 (hvor $\text{CO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^-$) og svagt ioniserede molekyler. Disse transporteres så væk fra vandstrømmen ligesom de fuldt ioniserede atomer/molekyler.

Naturens vandfiltre – aquaporiner

Elektro-deionisering er ganske effektiv, men også ret energiforbrugende p.g.a. det nødvendige stærke elektriske felt og kræver tilstedeværelsen af komplicerede ionbytter-materialer. Men naturen har selv udviklet en yderst elegant metode til fremstilling af ultrarent vand. Faktisk er den livsvigtig for alle kendte organismer, hvilket vores nyrer demonstrerer hele tiden. De filtrerer nemlig ca. 180 liter vand i døgnet, men udskiller kun ca. 2 liter urin. Så der er en stor recirkulation af vand – større end hvad ionkanaler (hvorigennem vand transporteres sammen med ioner) og passiv transport gennem cellemembranen kan forklare. Forklaringen på den gåde kom med opdagelsen af vandkanaler – aquaporiner – altså kanaler som lader *vand og kun vand* passere. Evnen til at filtrere store mængder vand leder naturligt til spørgsmålet om hvorvidt proteinet kan benyttes i en teknologisk sammenhæng hvor man udnytter vandkanaler i et filter til vandrensning.

Men hvad er egentlig baggrunden for vandkanalernes virkemåde? Identifikationen af aquaporiner var et meget tæt kapløb mellem flere forskere, som resulterede i at den amerikanske læge Peter Agre i 2003 fik Nobelprisen for opdagelsen. Agre studerede i 1980'erne hæmatologiske problemer – altså sygdomme relateret til blodet. Han var i gang med at finde Rhesus-antigener og stødte gang på gang ind i et ukendt protein, som intet havde med Rhesus-antigener at gøre. Men han fandt det alligvel så interessant, at hans forskningsgruppe gik videre og påviste at proteinet optræder i store mængder i røde blodceller, op til 200.000 proteiner per celle. Det svarer lidt til at køre en tur i Europa og så pludselig finde en by med 200.000 indbyggere som ikke er på kortet! Det gav Agre yderligere blod på tanden så at sige, og Agres gamle kliniske vejleder fortalte ham at

røde blodceller har en ekstrem høj gennemtrængelighed for vand – højere end hvad simpel diffusion gennem en proteinfri membran kan forklare. Det førte til Agres idé, at det ukendte protein kunne være et protein som transporterende vand. Herefter var opgaven at bestemme den DNA sekvens som koder for proteinet. Har man nemlig den, kan man sætte en celle til at lave – udtrykke – proteinet på en kontrolleret måde og så studere det. Agre fandt sekvensen og udtrykte proteinet i frøæg – et hyppigt anvendt modelsystem til den slags forsøg. Og nu var der videnskabelig gevinst. Agre anbragte frøæg med proteinet i vand og iagttog at æggene efter kort tid 'eksploderede'! De sugede vand og svulmede hvorefter de sprang som popkorn, mens ubehandlede frøæg ikke ændrede sig [4]. Ovenikøbet kunne eksplosionerne forhindres ved at tilsætte kviksølvforbindelser – noget som ikke ville have en effekt, hvis der bare var tale om passiv transport gennem den rene membran. Ydermere viste det sig at proteinet gav de samme spektakulære effekter, når det var indsat i kunstigt lavede membraner. Dette udelukkede, at det var andre mekanismer i frøægget som gav effekten. Måske mest betydningsfuld var opdagelsen, at når man havde forskellig surhedsgrad inden for og udenfor cellemembranen blev denne forskel opretholdt – selvom der transporteredes store mængder vand. Proteinets var med andre ord en selektiv vandkanal, og er siden blevet døbt aquaporin-1 (AQP-1). Som et-tallet antyder, er der siden kommet adskilligt flere aquaporiner til. Hos pattedyr kendes foreløbigt 13 aquaporiner, mens man i en plante som gåsemad til dato har identificeret ikke mindre end 35 slags aquaporiner [5].

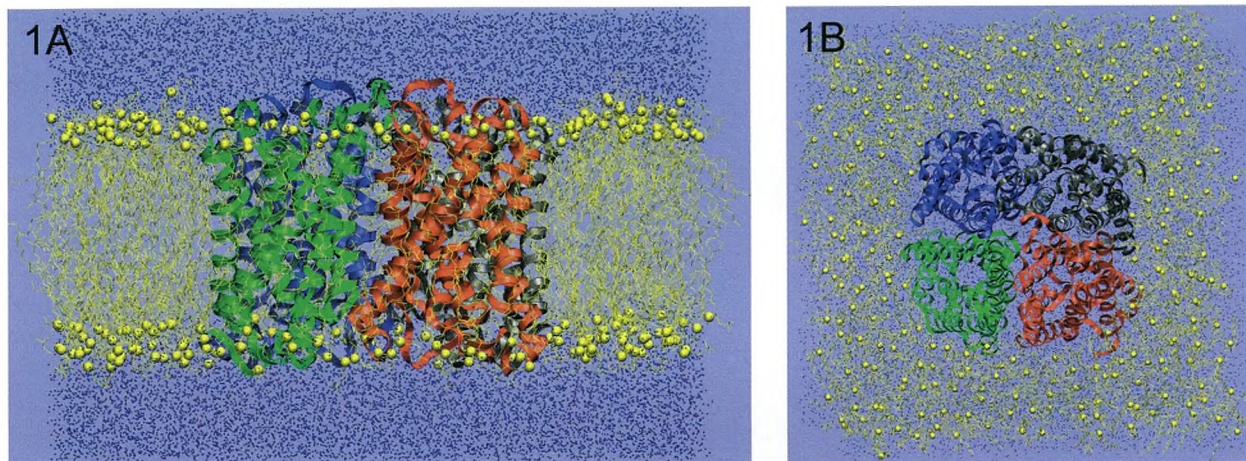
Proton-eksklusion

Den omstændighed at vandkanaler ikke ændrer cellens indre surhedsgrad betyder at vandkanaler ikke transporterer protoner. En proton er et brintatom uden sin elektron (noteres H^+ og kan for så vidt kaldes en brintion), men hvad har det med vand at gøre? Som vi så tidligere vil et stærkt elektrisk felt splitte vand i ioner. Uden det elektriske felt er langt de fleste vandmolekyler tilstede i form af H_2O , men ganske få er til stede som enten OH^- eller H_3O^+ -ioner – man kan tænke på det som to H_2O -molekyler hvor ét af dem har givet en proton (H^+) til det andet. Denne omstændighed er reflekteret i ultrarent vands høje resistivitet (se tabellen). En definition på en syre er noget som kan afgive en proton og en base er noget der kan modtage en proton. På den måde er vand på én gang en meget svag syre og en meget svag base. Protoner i vand optræder aldrig isoleret men altid sammen med ét eller flere vandmolekyler dvs. som H_3O^+ og sandsynligvis også sammen med to (som H_5O_2^+) eller fire (som H_9O_4^+) vandmolekyler. I et surt vandigt miljø er der overskud af H_3O^+ -ioner. Det som aquaporinkanalen er i stand til, er at lade H_2O passere men ikke H_3O^+ . For at se hvordan det kan lade sig gøre, må vi kigge nærmere på strukturen af aquaporin.

Som nævnt kunne kanalerne blokeres af kviksølvforbindelser. Kviksølvforbindelser reagerer

gerne med en bestemt slags aminosyre – cystein. Ved at bruge molekylærbiologiske teknikker kunne Agre og kolleger ændre på kanalernes cysteiner, og derved få indirekte information om kanalens form ved at se hvordan ændringerne påvirkede følsomheden overfor kviksølvforbindelserne. De fandt at kanalen er opbygget af fire enheder (en tetramer), hvor hver af de fire enheder i aquaporinkanalen har sin egen timeglasformede pore. Så vandmolekylerne passerende tilsyneladende gennem proteinet i gåsegang gennem de snævre porer, lidt som projektiler gennem et flirløbet gevær. Det blev bekræftet da man i år 2000 fik de første

krystalstrukturer som man kunne lave røntgenbilleder af [6]. Man kunne f.eks. se, at der var cystein i den del af proteinet som vender ind imod den centrale pore, og således forstå at kviksølvforbindelserne kunne blokere kanalen. Med røntgen-krystalbilledet havde man en komplet tredimensional struktur som man kunne lave computersimuleringer med (se figur 1). Den udfordring tog forskellige supercomputergrupper ledet af Klaus Schulten, Helmut Grobmüller og Bert de Groot op, og nu begyndte man at forstå aquaporins evne til at si H_3O^+ fra.



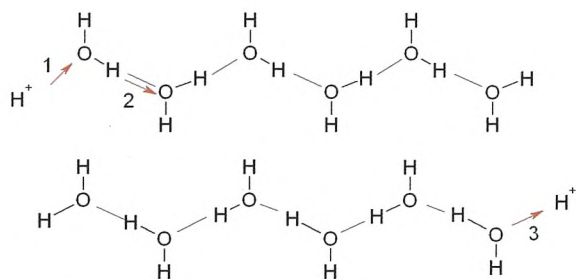
Figur 1. En spinat-aquaporin tetramer i en bimolekylær lipidmembran bestående af palmitoyl-oleoyl-fosfatidylkolin molekyler omgivet af vand (små blå symboler) på hver side. **A:** set i tværsnit, **B:** set fra toppen. Tetramerens fire identiske enheder (grøn, rød blå og sort) er hver repræsenteret ved aminosyresekvensens rygrad som fremhæver den spirale struktur af de transmembranspændende dele. Lipidmolekylerne (orange) arrangerer sig således at de vandskyende (hydrofobe) fedtkæder er skjæret fra de vandige faser og de vandelskende (hydrofile) hovedgrupper med fosfatgruppen (orange kugler). Bemærk at repræsentationerne ikke viser alle atomer og at hele strukturen derfor er mere 'tæt' end det umiddelbart fremgår. Figur 1A og 1B (samt figur 3) er venligst stillet til rådighed af Dr. Himanshu Khandelia, Syddansk Universitet.

Før vi med computerens hjælp begiver os ind i kanalen, må vi først se lidt på hvordan man generelt tænker sig at protoner bevæger sig gennem vand. Vandmolekyler er elektrisk neutrale men polære da elektronskyen er forskudt fra de to hydrogenatomer mod oxygen atomet. Herved får vand en 'positiv' side og en 'negativ' side. Positive ioner vil derfor umiddelbart omgive sig med en vandkappe hvor vandmolekylernes negative sider vender ind mod den positive ladning. Man kunne tro at da H_3O^+ -ionen med sin vandkappe, kun er en anelse mindre end K^+ med sin vandkappe, vil den bevæge sig omtrent lige så hurtigt som K^+ hvis man påtrykker et elektrisk felt – da de jo har samme ladning. Men det viser sig at H_3O^+ tilsyneladende bevæger sig langt hurtigere end K^+ ioner. Det er uforklarligt ud fra standardteorier om væskestrømninger. I et forsøg på en forklaring opdagede forskere omkring 1900 en godt 100 år ældre afhandling fra 1806. I den foreslog den tyskfødte baltiske forsker Christian J. Theodor von Grotthuss, at vand er opdelt i en positiv brint-del og en negativ ilt-del (henholdsvis benævnt **h** og **o**) som kan skilles ad med elektricitet. Han byggede sin teori på det man ser, når man stikker to elektroder ned i vand og påtrykker en spænding. Ved den positive elektrode bobler ilt frem mens der ved den negative

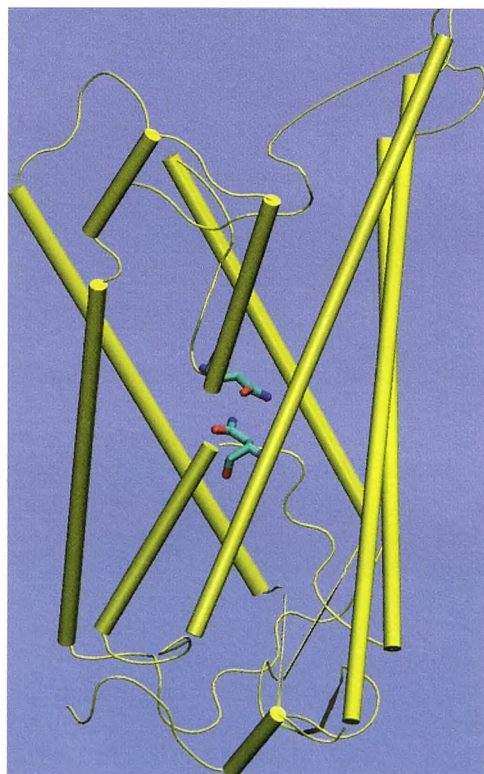
elektrode bobler brint frem. Grotthuss havde næsten ret – fem år senere bestemte en italiensk kemiker med det imponerende navn grev Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro di Quaregna e Cerreto (blandt kemikere kendt som Avogadro) vands sammensætning som H_2O . Grotthuss lavede også forsøg med forskellige saltopløsninger og beskrev de grenlignede mønstre der voksede frem i saltopløsningen mellem elektroderne, når han påtrykte en spænding. Grotthuss fik så den idé at vands **o** og **h** dele hopper fra molekyle til molekyle således at når et vandmolekyle (**o h** i Grotthuss formalismen) fraspalter sin **o** ved den positive elektrode hopper **h**-delen over på en anden nyankommen **o**, hvis **h** så finder en ny **o** og så fremdeles. Noget tilsvarende skulle ske for **h** med modsat retning ved den negative elektrode [7].

Grotthuss' idéer blev fra omkring år 1900 og frem udbygget til en Grotthuss-mekanisme, som skulle forklare H^+ transport. I den udbyggede version blev H^+ transport forklaret som H^+ hop fra H_2O til H_2O -molekyle (se figur 2, øverste række). De neutrale H_2O molekyler er bundet sammen af svage bindinger mellem de 'negative' iltatomer og de 'positive' brintatomer. Protonen starter med at knytte sig til det første vand-

molekyle (pil 1). Dette resulterer i at en anden proton fra det første H₂O-molekyle hopper til det næste H₂O i rækken (pil 2) og så fremdeles. Når dette er sket gennem hele kæden er resultatet en fri proton for enden af kæden (pil 3). Hoppene resulterer i en ny kædekonfiguration svarende til at H₂O-molekylerne alle er blevet drejet (sammenlign H₂O-molekylerne i øverste og nederste række). Hoppemekanismen kræver således, at alle vandmolekylerne danner en kæde bundet sammen af de svage bindinger med alle vandmolekylerne orienteret på samme måde, og efter hoppene er alle vandmolekylerne effektivt blevet reorienterede.



Figur 2. Grotthuss mekanismen for protontransport i en vandkæde. Mekanismen involverer både bindinger mellem vandmolekyler og reorientering. Protonen hopper langs de svage brintbindinger (blå linier) ved at bryde og danne de stærkere bindinger (sorte linier), som holder de enkelte vandmolekyler sammen.



Figur 3. Skematisk snit gennem en af de fire identiske porer, som tilsammen udgør aquaporin tetrameren i membranen. To dele af proteinet (hvor de spirale dele er vist som gule cylindre) ender hver med aminosyresekvensen alanin-prolin-asparagin. De to asparaginer, vist i blå 'stregrepræsentation', reorienterer vandmolekylerne forbigående i poren. Herved brydes kæden af de svage bindinger mellem vandmolekylerne, som er nødvendig for Grotthuss mekanismen (se figur 2). Tilsammen giver arrangementet en stor vandtransport uden transport af protoner.

Men hvad med aquaporins evne til at si H₃O⁺ fra? Det som super-computer grupperne så i deres simuleringer var hvordan kanalen bryder kæden af vandmolekyler. Proton-eksklusion sker tilsyneladende ved tre mekanismer. Den ene mekanisme bygger på, at i porens snævre del er der kun plads til ét vandmolekyle. Den anden mekanisme bygger på, at der hvor poren er snævest, sidder den positivt ladede aminosyre arginin og den delvist positivt ladede aminosyre histidin. De positive ladninger frastøder H₃O⁺. Den tredje mekanisme bygger på at der lidt længere inde i poren sidder to asparagin aminosyrer (se figur 3). De fanger H₂O-molekylerne, og danner begge samtidigt svage bindinger til H₂O-molekylerne, hvilket betyder at H₂O en kort overgang reorienteres mellem de to aminosyrer på sin vej gennem kanalen og samtidigt forhindres de i at lave de bindinger med hinanden som er nødvendige for Grotthuss-transporten. Ydermere er mekanismen så fint justeret at hver pore kan lade en milliard vandmolekyler passere per sekund [8]!

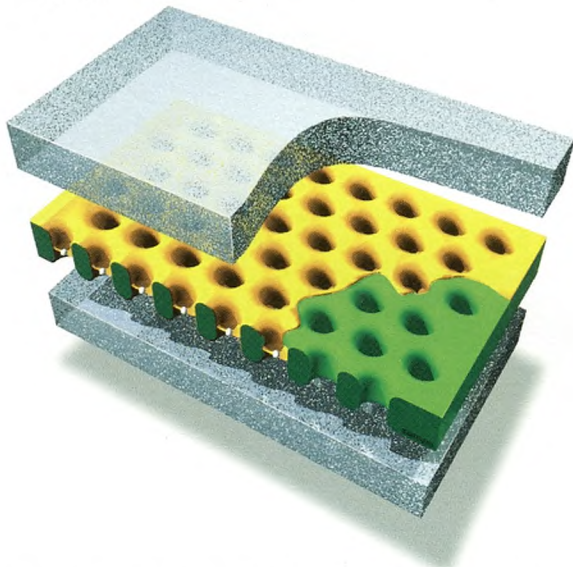
Fra natur til teknologi

Opbygningen og funktionen af aquaporin løser det samme problem som elektrode-deioniseringsprocessen gør, men med den forskel at alle processer er samlet i ét og samme protein. Det leder så til muligheden for – i alt fald i teorien – at fremstille ultrarent vand ved at filtrere en vandig opløsning gennem et filter opbygget af aquaporin proteiner som de aktive elementer. Selv hvis det i praksis ikke helt lykkes at bringe alle ppb værdierne i tabellen helt ned på nul vil man kunne filtrere vand gennem en aquaporin-holdig membran væsentligt billigere end elektro-deioniseringsprocessen, da der jo ikke kræves et påtrykt elektrisk felt. Dog vil der kræves en trykforskel svarende til hvad man i dag benytter i såkaldt omvendt osmose membraner. Disse membraner bygger på den osmotiske trykforskel mellem væsker. Denne forskel fremkommer ved at en opløsning bringes i kontakt med det rene opløsningsmiddel ved hjælp af en semi-permeabel membran som *kun* lader opløsningsmidlet (her vand) passere. Opløsningens osmotiske tryk fremkommer således som det overtryk der skal lægges på opløsningen for at hindre transport af opløsningsmidlet. Omvendt osmose fremkommer ved at overtrykket *øges* udover opløsningens osmotiske tryk. Herved presses vandet konvektivt gennem membranen (mod den osmotiske gradient) og filtreres således. Det er eksempelvis princippet bag de fleste eksisterende anlæg til afsaltning af havvand, og benyttes også som et trin før elektro-deionisering.

En fuldstændig perfekt ikke-gennemtrængelig membran med indbyggede aquaporin proteiner, vil principielt være en realisering af den idelle semi-permeable membran. Selvom membranen ikke udelukkende kan bestå af protein, men også må indeholde en matrix hvori proteinerne sidder, vil en sådan aquaporin-membran have en højere vandflux end eksisterende omvendt osmose membraner (ved det samme tryk) på grund af proteinets kombination af stor permeabilitet og selektivitet for vandmolekyler, og dermed kunne producere

ultrarent vand billigere end det kan gøres i dag.

På DTU Fysik er vi en gruppe som arbejder på at forstå vekselvirkningen mellem proteiner og deres omgivende membraner. Den viden prøver vi at omsætte i AQUaporin A/S, et dansk clean-tech firma grundlagt i 2005, hvor vi arbejder med at fremstille biomimetiske membraner (dvs. efterligninger af naturens lipid-dobbeltlag) til vandrensning hvori aquaporiner er indlejrede. Figur 4 viser princippet i en sådan membrans opbygning.



Figur 4. Principskitse af opbygningen af en aquaporinfilter til vandrensning. Aquaporinerne (de hvide legemer) er indbygget i en biomimetisk membran (den gule film) som holdes på plads af et bæremateriale (grønt). Støttemateriale (gråt) omgiver og beskytter den biomimetiske membran.

Aquaporinmolekylerne indeholder hydrofobe transmembrane segmenter så de kan spænde over membranen. Da den biomimetiske membran-matrix nødvendigvis må være tilpasset den hydrofobe længde af de transmembrane segmenter (se figur 1), vil tykkelsen af denne membran være af størrelsesordenen 3-5 nm. Dette er vigtigt da proteins funktion faktisk kan kontrolleres af denne tilpasning [9]. Et andet designkrav ligger i selve anvendelsen. Hvis en aquaporin membran skal kunne konkurrere med eksisterende teknologier kræver det effektive filterarealer i størrelsesordenen kvadratmeter. En kvadratmeter stor membran med en tykkelse på få nanometer vil for det første være meget svær at lave helt perfekt, og selv hvis man kunne, ville en sådan membran ikke kunne modstå særligt store trykforskelle. Disse problemer kan man minimere, hvis man laver små afgrænsede membranarealer som er omgivet af et eller flere støttematerialer. Figur 4 viser hvordan man kan afgrænse den biomimetiske membranmatrix ved at omgive filter-arealerne med et bæremateriale. Denne konstruktion omgives så igen af støttematerialer som sikrer at konstruktionen kan holde til de trykforskelle som anvendelserne kræver. Udfordringen består således i at bygge bro fra vandkanalernes nano-verden til vores makroskopiske verden, og vi må i udviklingsarbejdet involvere mange videnskabelige

discipliner og teknikker - fra atomar kraftmikroskopi til blikkenslagerarbejde!

Afslutningsvis kan det som fysikhistorisk kuriosum nævnes at vi i en forløber til det vi i dag kender som SI-systemet: *Décret relatif aux poids et aux mesures* af 7. april 1795, kan læse at definitionen på et gram faktisk bygger på rent vand: *Gramme: le poids absolu d'un volume d'eau pure égal au cube de la centième partie du mètre, et à la température de la glace fondante.* Selvom begrebet rent vand videnskabeligt set altså er mindst 200 år gammelt er forskning og udvikling inden for rent vand så levende som nogensinde.

Litteratur

- [1] Chase, V., Distilled Wisdom on Ultrapure Water Recycling. R&D Magazine, Advantage Business Media, 1995(June 1995): p. 61-62.
- [2] deGenova, J., Ultrapure water production. Department of Chemical and Environmental Engineering University of Arizona, 1999: p. 1-6.
- [3] Ganzi, G.C., et al., Electrodeionization: theory and practice of continous electrodeionization. Ultrapure Water, 1997. **14**: p. 64-68.
- [4] Preston, G.M., et al., Appearance of water channels in *Xenopus* oocytes expressing red cell CHIP28 protein. Science, 1992. **256**(5055): p. 385-7.
- [5] Gonen, T. and T. Walz, The structure of aquaporins. Q Rev Biophys, 2006. **39**(4): p. 361-96.
- [6] Murata, K., et al., Structural determinants of water permeation through aquaporin-1. Nature, 2000. **407**(6804): p. 599-605.
- [7] Cukierman, S., Et tu, Grotthuss! and other unfinished stories. Biochim Biophys Acta, 2006. **1757**(8): p. 876-85.
- [8] Tajkhorshid, E., et al., Control of the selectivity of the aquaporin water channel family by global orientational tuning. Science, 2002. **296**(5567): p. 525-30.
- [9] Nielsen, C., M. Goulian, and O.S. Andersen, Energetics of Inclusion-Induced Bilayer Deformations. Biophys. J., 1998. **74**: p. 1966-1983.

Claus Hélix Nielsen er lektor i biofysik på DTU Fysik med speciale i proteins vekselvirkning med lipidmembraner, samt forskningschef i AQUaporin A/S (www.aquaporin.dk) og teknisk medkoordinator på det EU financerede MEMBAQ projekt (www.membaq.eu) samt vandmembranprojektet finansieret af Højteknologifonden (www.watermembrane.dk) som begge sigter på at udvikle aquaporinmembraner.



Springflod – breddeopgave 31 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. 31 i rækken her i KVANT):

31. Springflod

Indtræffer springflod ved fuldmåne, nymåne eller halvmåne? Begrund svaret.

Løsning

Løsningen gives i form af en udfoldning af opgaven:

“Masserne af Solen og Månen kaldes for henholdsvis M_S og M_M . Afstanden mellem Solens centrum og Jordens centrum kaldes R_J . Afstanden mellem Jordens centrum og Månens centrum kaldes R_M . Jordens radius kaldes for R og gravitationskonstanten for G .

1. *Hvor stor er Jordens acceleration i dens tilnærmelsesvis cirkelbevægelse omkring Solens centrum?*

I det følgende ansues tingene ud fra et koordinatsystem med nulpunkt i Jordens centrum og akser, der retter sig imod de samme fiksstjerner hele tiden. Set fra dette koordinatsystem medfører Solens tilstedeværelse udover gravitationsfeltet fra den også et “fiktivt” kraftfelt på grund af accelerationen af koordinatsystemet i forhold til et system med nulpunkt i Solen og faste akser i forhold til fiksstjernerne. Summen af de to kraftfelter er det såkaldte tidevandsfelt fra Solen.

2. *Angiv tidevandsfeltet fra Solen langs den rette linie gennem Jorden og Solen.*
3. *Hvor mange gange i døgnet er der flod og ebbe forårsaget af Solen?*

Set fra jordkoordinatsystemet medfører Månens tilstedeværelse udover gravitationsfeltet fra den også et “fiktivt” kraftfelt på grund af rotationen af Jorden og Månen omkring deres fælles tyngdepunkt. Summen af de to kraftfelter er det såkaldte tidevandsfelt fra Månen.

4. *Angiv tidevandsfeltet fra Månen langs den rette linie gennem Jorden og Månen.*
5. *Hvor mange gange i døgnet er der flod og ebbe forårsaget af Månen?*

6. *Indtræffer springflod (sammenfald af flod/ebbe fra Månen og Solen) ved fuldmåne, nymåne eller halvmåne?”*

Ifølge Newtons 2. lov og Newtons gravitationslov er svaret på 1):

$$\frac{GM_S}{R_J^2}. \quad (1)$$

Svaret på 2) er så, at tidevandsfeltet regnet positivt i retningen bort fra Solen er:

$$\frac{GM_S}{R_J^2} - \frac{GM_S}{(R_J + x)^2}, \quad (2)$$

hvor stedet x på linien er regnet fra Jordens centrum som nulpunkt og positiv i retningen bort fra Solen. I Jordens centrum, dvs. for $x = 0$, ses tidevandsfeltet at være 0. For $x = -R$, dvs. i punktet på jordoverfladen rettet imod Solen, ses det at være rettet imod Solen med størrelsen:

$$\frac{GM_S}{(R_J - R)^2} - \frac{GM_S}{R_J^2}. \quad (3)$$

For $x = R$, dvs. i punktet af jordoverfladen rettet bort fra Solen, ses feltet at være rettet bort fra Solen med størrelsen:

$$\frac{GM_S}{R_J^2} - \frac{GM_S}{(R_J + R)^2}. \quad (4)$$

I begge punkterne svarende til $x = R$ og $x = -R$ har tidevandsfeltet maksimale værdier på jordoverfladen. Tilnærmelsesvis ses de ved rækkeudvikling i begge tilfælde at være:

$$\frac{GM_S}{R_J^2} \cdot \frac{2R}{R_J}. \quad (5)$$

Tidevandsfeltet fra Solen har således to pukler, en vendt imod Solen og en bort fra den, som Jorden drejer sig i en gang i døgnet.

Svaret på spørgsmål 3) er derfor, at der er flod og ebbe forårsaget af Solen to gange i døgnet.

Hvad angår tidevandsfeltet fra Månen gør det ingen forskel i forhold til tidevandsfeltet fra Solen, at det fælles tyngdepunkt ligger så forskelligt i de to situationer. Accelerationen af Jorden i dens bevægelse omkring Månen og Jordens fælles tyngdepunkt er GM_M/R_M^2 . Svaret på spørgsmål 4) er derfor:

$$\frac{GM_M}{R_M^2} - \frac{GM_M}{(R_M + x)^2}, \quad (6)$$

og tilsvarende til tidevandsfeltet fra Solen.

Tidevandsfeltet fra Månen har således to pukler, tilnærmelsesvis af størrelsen:

$$\frac{GM_M}{R_M^2} \cdot \frac{2R}{R_M}, \quad (7)$$

én vendt imod Månen og én bort fra den, som Jorden drejer sig i en gang i døgnet. Svaret på spørgsmål 5) er derfor, at der er flod og ebbe forårsaget af Månen to gange i døgnet.

Tidevandsfelterne fra Solen og Månen ses at forstærke hinanden, når Solen, Månen og Jorden ligger på linie. Springflod finder derfor sted lige så vel ved fuldmåne, som ved nymåne. Men ikke ved halvmåne.

Kommentar

1. I KVANT nr. 3, oktober 2000, og i KVANT nr. 1, april 2001 blev løsningerne til to breddeopgaver som her givet i form af udfoldninger af opgaverne. De tre udfoldede og formaliserede opgaver tilhører et sæt på 12, der modsvarer 12 breddeopgaver. Sættet har jeg lavet som et af midlerne til for de fysikstuderende på RUC at tydeliggøre, hvad det er for en slags bolde, der gås efter i en undervisning byggende på de åbent formulerede breddeopgaver. Og kontrasten mellem de åbent formulerede breddeopgaver og deres udfoldede modstykker virker umiddelbart befordrende for forståelsen hos de studerende af plottet for breddekurset. De studerende oplever oftere udfoldning og formalisering end den efterfølgende opgaveløsning som flaskehalsen ved løsningen af breddeopgaver. Men det er også evnen til at takle åbent stillede problemer ved hjælp af fysik, der er flaskehalsen for at opleve fysik som et aktivt og udadrettet tænkeapparat. Derfor ligger der selvfølgelig også en indirekte kritik af fremherskende opgavetyper i fysikundervisningstraditionen gemt i modstillingen, selvom de udfoldede opgaver er på grænsen til at være karikaturer.

2. Indsættes talværdier for G , M_J , M_M og R_M i Newtons gravitationslov findes Jordens træk i Månen at være $1,99 \cdot 10^{20}$ N. Tilsvarende findes Solens træk i Månen ud fra gravitationsloven at være $4,34 \cdot 10^{20}$ N. Solens træk i Månen er altså mere end dobbelt så stort som Jordens træk i Månen. Hvordan kunne det da lade sig gøre for Newton at demonstrere sammenhængen imellem æblets fald fra træet og Månens omløbstid om Jorden ved at regne på Månen og Jorden som et isoleret system uden Solens tilstedeværelse? Jo, det er, fordi konsekvensen af Solens tilstedeværelse udover gravitationstrækket fra den også er det "fiktive" kraftfelt i jord-måne systemet, når Solen svinger det omkring sig. Og at det således resulterende tidevandsfelt på Månen inden for en nøjagtighed på 1 % kan negligeres i forhold til Jordens træk, da dets størrelse er ca. $\frac{2R_M}{R_J}$ gange Solens træk i Månen og $\frac{2R_M}{R_J} = 0,005$.

Denne historie er for mig et godt eksempel på, hvad jeg i andre sammenhænge (se f.eks. artiklerne fra min

hånd i Naturkampen nr. 18, december 1980, og GAMMA 72 fra 1988, begge med overskriften "Matematiske modeller – vejledning eller vildledning?") har kaldt "teoretisk kontrol" af en matematisk model.

Berettigelsen af modelberegningen af Månens omløbstid om Jorden, hvor Jorden og Månen ved beregningen regnes for et isoleret system, kan, som gjort, kontrolleres til at være i orden til andet betydende ciffer ved hjælp af den udvidede model, hvor Solen medtænkes og et koordinatsystem med Solens centrum som nulpunkt og akser, der retter sig imod de samme fiksstjerner hele tiden, regnes for et inertialsystem. Fejlen på fejlvurderingen, der herved begås ved ikke at tage højde for gravitationen fra mælkevejen og at sol-koordinatsystemet er accelereret i forhold til mælkevejens centrum, kan vurderes på tilsvarende måde. Osv. Og dette kinesiske æskesystem, hvor de mere omfattende modeller kan bruges til at kontrollere de mindre omfattende modeller med, kan administreres gennemsigtigt, fordi hele spillet er underlagt Newtonsk mekanik som fælles universel ramme. Teoriafledte matematiske modeller, som der her er tale om, kan gøres til genstand for teoretisk kontrol. Det er det, jeg synes vurderingen af den korrigerende indflydelse fra de forskellige tidevandsfelter er et godt eksempel på.

Teoriafledte matematiske modeller kan selvfølgelig udover teoretisk kontrol også underlægges empirisk kontrol ved direkte konfrontation med måledata. I modsætning hertil kan ad hoc matematiske modeller, hvor der tages udgangspunkt – ikke i en teori og tillem্পningen af den til sammenhængen – men direkte i en foreliggende kontekst for at sammenfatte den i kompakt matematisk sprog, alene underlægges empirisk kontrol. Betydningen af forskellen ligger ikke i, at teoriafledte matematiske modeller nødvendigvis er mere troværdige end ad hoc matematiske modeller. Troværdigheden afhænger jo af de gjorte idealiseringer. Men det, at idealiseringerne kan kontrolleres teoretisk, gør teoriafledte matematiske modeller tilgængelige for offentlig kritik og kontrol (fra uafhængige eksperter). Hvorimod kritik af ad hoc modeller kræver adgang til data. Og denne forskel er det vigtigt at have blik for i betragtning af den omfattende samfundsmæssige brug af matematiske modelberegninger, hvor ensartet form (matematik) fejlagtigt tages til indtægt for ensartet slags erkendelsesindhold.

Breddeopgave 32. Ohms lov

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til denne eksamensopgave fra breddekurset på RUC (fra sommereksamen 2000, nr. 32 i rækken her i KVANT):

Hvad er modstanden for en elektrisk strøm fra indersiden til ydersiden af en hul metalkugle? Begrund svaret.

Løsning og kommentar bringes i næste nummer.

Forskernes rapportering

Af Sven Munk, KVANT.

Forskning og formidling af resultater er i dette årti under hastig forandring. Antallet af forskere vokser i hele verden og dermed bliver mængden af publiceret materiale også større. Der er behov for nye måder at løse den opgave, som i mere end 200 år har været klaret med bøger og tidsskrifter.

At publicere eller ikke publicere...

Fra første dag på universitetet bliver de unge forskerspirer indskærpet, at parolen *publish or perish* er ultimativ. Hvem vil ikke gerne fortælle kolleger og andre om de epokegørende opdagelser, man har gjort? Folk i marketing kan så supplere med argumenter for en PR-indsats. *Do good and tell about it*. Så med den fremadskridende markedsføring af forskningen kan ingen længere ignorere betydningen af en effektiv publiceringsvirksomhed.

Hvad man kan savne er imidlertid lidt anvisning på, hvordan der skal publiceres. I det man lidt løst kunne kalde den naturvidenskabelige verden, er mange ting under forandring. Universiteterne skal tjene penge og visse politikere mener vist, at de helst skulle blive selvfinansierede.

Bibliotekerne er også ved at omdefinere deres mission. Når bøger og tidsskrifter forsvinder, fordi de er blevet dyre, og der placeres flere informationer og videnskabelige artikler på internettet, kan bibliotekerne forståeligt nok føle sig trængte. Internettet med dets mange muligheder må give anledning til at fundere over fremtiden for distribution af videnskabelige resultater. Det er ikke nogen triviell opgave at finde den rigtige løsning på netop dette problem. Nogle har skønnet, at der er 1 million forfattere, som årligt producerer 1,5 million artikler. Så ud over, at alle disse artikler helst skulle være tilgængelige for enhver, rejser der sig et andet vigtigt spørgsmål. Hvordan kan man som læser finde de bedste/mest relevante artikler? Sagkyndige på området vidensformidling regner med, at der findes 23.000 (eller måske mange flere) videnskabelige tidsskrifter i verden. Dette gør ikke sagen mere fremkommelig.

Artikler ad libitum

Credoet om at publicere for enhver pris er måske ikke helt uden omkostninger. Et lidt kættersk spørgsmål trænger sig på: Bliver der publiceret for meget? Da det er åbent for fortolkning, hvad der er god forskning, har den opfattelse bredt sig, at det må kunne afgøres ved at tælle. Jo større tal, desto bedre forskning. Og så kan man lade computere gøre arbejdet. Ting, der kan tælles, er f.eks. antallet af artikler og antallet af citationer (Impact Factor). Enhver forsker, som søger penge (offentlige eller private), vil forsyne sin ansøgning med titler på alle de artikler, der er produceret på laboratoriet. Da der normalt er flere medarbejdere, som gerne

vil have del i æren, er det blevet almindelig praksis, at et forskningsprojekt deles op i mindre bidder. Så kan der skrives artikler med varierende indfaldsvinkler. For dette fænomen er der skabt et begreb: *least publishable units*. For en computer er 4 mus mere end 1 elefant.

En forsker, som har fået interessante resultater, vil selvfølgelig gerne informere verden om dette. Den velkendte, klassiske fremgangsmåde er at opsøge et – helst velrenommeret – tidsskrift og indsende det forfattede hertil. Har tidsskriftet en høj status, vil den foreslåede artikel blive underkastet et peer-review. Denne bedømmelse af fagfolk, som ikke selv har deltaget i det aktuelle forskningsarbejde, skulle sikre lodige artikler. Netop denne uafhængige bedømmelse anses af mange for at udgøre en slags kvalitetsvurdering. Dette gælder i mange tilfælde, men det giver ingen beskyttelse mod forskere, som svindler med de publicerede resultater.

At være reviewer er hårdt arbejde, det er alle vist klar over. Disse fagligt engagerede og vidende mennesker er kun kendt af forlagene, ikke af forfatterne. Et indsendt artikelforslag bliver bedømt til godkendt/ikke godkendt, uden at forfatteren får kendskab til begrundelsen. En ikke godkendt artikel kan selvfølgelig give lidt frustration hos forfatteren, som kan føle sig nødsaget til at sende artiklen til et andet tidsskrift. Her kan processen så begynde forfra med en ny peer-review.

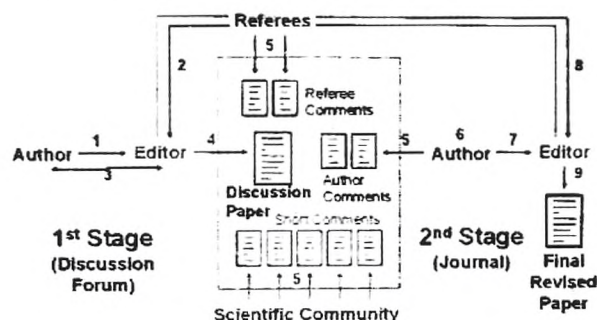
Peer-review

Ikke alle er ubetinget begejstret for peer-review systemet. Som tidligere chefredaktør for British Medical Journal er Richard Smith citeret for at have sagt: Peer-Review er langsom, besværlig, tidsrøvende, ret subjektiv, følsomt for fordomme, let at misbruge, udviser svaghed ved opdagelse af fejl og næsten ude af stand til at opdage bedrag. Citatet er 10 år gammelt, og det er ikke godtgjort, at forholdene er blevet så meget bedre. Søger man at afhjælpe disse forhold ved at stille krav om større grundighed, ender man med en langsommere sagsbehandling.

En forsker kunne vælge alternativet, at få artiklen anbragt i et repository på internettet (Open Access). Der er forskellige udformninger af sådanne artikel-arkiver. Nogle har ret liberale adgangsbetingelser, medens andre – dog uden at have en egentlig formaliseret peer-review funktion – lige ser det tilsendte materiale an. Det er i de fleste tilfælde begrundet med, at man vil undgå fantasifulde og polemiske bidrag.

April 2008 er antallet af repositories på verdensplan opgjort til 1.100, hvoraf hovedparten drives af biblioteker og forskningsinstitutioner. Et eksempel er pre-print serveren arXiv.org, der har hjemme på Cornell Universitet i USA. Her skulle der være 470.000 artikler – og antallet vokser med 4.000 hver måned.

Det er et fundamentalt problem ved publicering af videnskabelige resultater, at forskere på den ene side gerne vil have sig frabedt at blive censureret, men på den anden side gerne vil være nogenlunde sikre på, at det andre forskeres får publiceret er korrekt. Med internettet (efter sigende faciliteret af WEB 2.0) bliver der eksperimenteret med nye former for peer-review. Et nyt begreb er skabt, nemlig Open Peer-Review. Princippet i konceptet er, at en forsker præsenterer sit arbejde i et forum på internettet, hvor så andre med faglig viden og interesse kan kommentere det fremlagte. Billedet skal tjene som illustration af en måde at gøre dette på.



Figur 1. Flow i Peer-Review-Proces.

Netop i kraft af internettet er det rent teknisk muligt at skabe en hurtig dialog om artiklens indhold. Flere steder i verden har der de seneste år været eksperimenteret med tilrettelæggelse af sådanne portaler. Som det ser ud lige nu, peger de indhøstede erfaringer i forskellige retninger. En af forhindringerne kan måske være forskeres holdning til dette nymodens fænomen. Her kan noget med tradition og status være på spil. Hvis man vil gøre sig bekendt med nogle af de problemer, der kan opstå, er Wikipedia formentlig et egnet studieobjekt. Til sikring af kvaliteten af artikler har Wiki introduceret en ny ordning, som går under navnet WikiTrust. Heller ikke dette er i sin nuværende form helt uden problemer.

En studerende på et universitet har lidt spøgefuldt(?) sagt, at hvis information ikke kan findes af Google, så eksisterer den ikke. Den egentlige betydning af dette udsagn er, at kommende forskere risikerer at blive historieløse. Tidsregningen bliver til før og efter Googles fødsel. Forskningsprojekter kan blive igangsat, selv om resultatet af nogle planlagte kemiske analyser findes beskrevet i et kemisk tidsskrift fra 1891. Hermed er naturligvis ikke sagt, at al ældre forskning også er relevant for nutiden.

Fremtidsudsigter

Udsigterne for arkivering af videnskabelige bøger, rapporter og artikler på længere sigt forekommer noget tågede. Med en tidshorisont på 50 år og ved brug af tallene foran i denne artikel, kommer man til en samlet mængde dokumenter på 75 millioner. Med en skønnet gennemsnitlig størrelse på 1 MegaByte per dokument ender regnestykket med 75 TeraByte. Teknisk, og vel også økonomisk, er det overkommeligt. Hvem, der så påtager sig et ansvar for at gemme artikler i 50 år eller mere, kan vel næppe besvares kategorisk idag. Derimod står det klart, at det allerede nu kan være lidt af et projekt at finde rundt i de eksisterende data. Et tilfældigt valgt eksempel: Hvor findes brugbar info om tunneldioder? Det var vist et varmt tema i midten af 1960'erne. Er der noget – og hvordan findes det?

De fleste forskere har nok oplevet at “der da vist var noget med ...”, men hvem gør noget for at bringe orden i kaos?

Der er al mulig grund til at støtte de forskere, som bruger tid på at skrive, gerne lidt tunge, review-artikler. Ikke mindst, når man befinder sig lidt af periferien af et forskningsområde, kan sådanne artikler modvirke, at man føler sig helt fortabt. Der burde uddeles årlige priser for de bedste review-artikler og forfatterne skulle i TV.

Litteratur

- [1] Institute for Scientific Networking (ISN).
- [2] E. Hilf, H.-J. Wätjen, Scientific Refereeing in a Distributed World, <http://physnet.uni-oldenburg.de/hilf/vortraege/cern01>.
- [3] International Conference “Academic Publishing in Europe” (APE 2008).
- [4] Journal Impact Factor (JIF), http://de.wikipedia.org/wiki/Impact_Factor.
- [5] Steve Hitchcock (2007), The effect of open access and downloads (“hits”) on citation impact: a bibliography of studies, <http://opcit.eprints.org/oacitation-biblio.html>.
- [6] 3. Open Repositories Conference 2008.
- [7] Directory of Open Access Repositories, <http://www.openoar.org>.
- [8] Directory of Open Access Journals (doaj.org).

Sven Munk er nyhedsredaktør på KVANT.

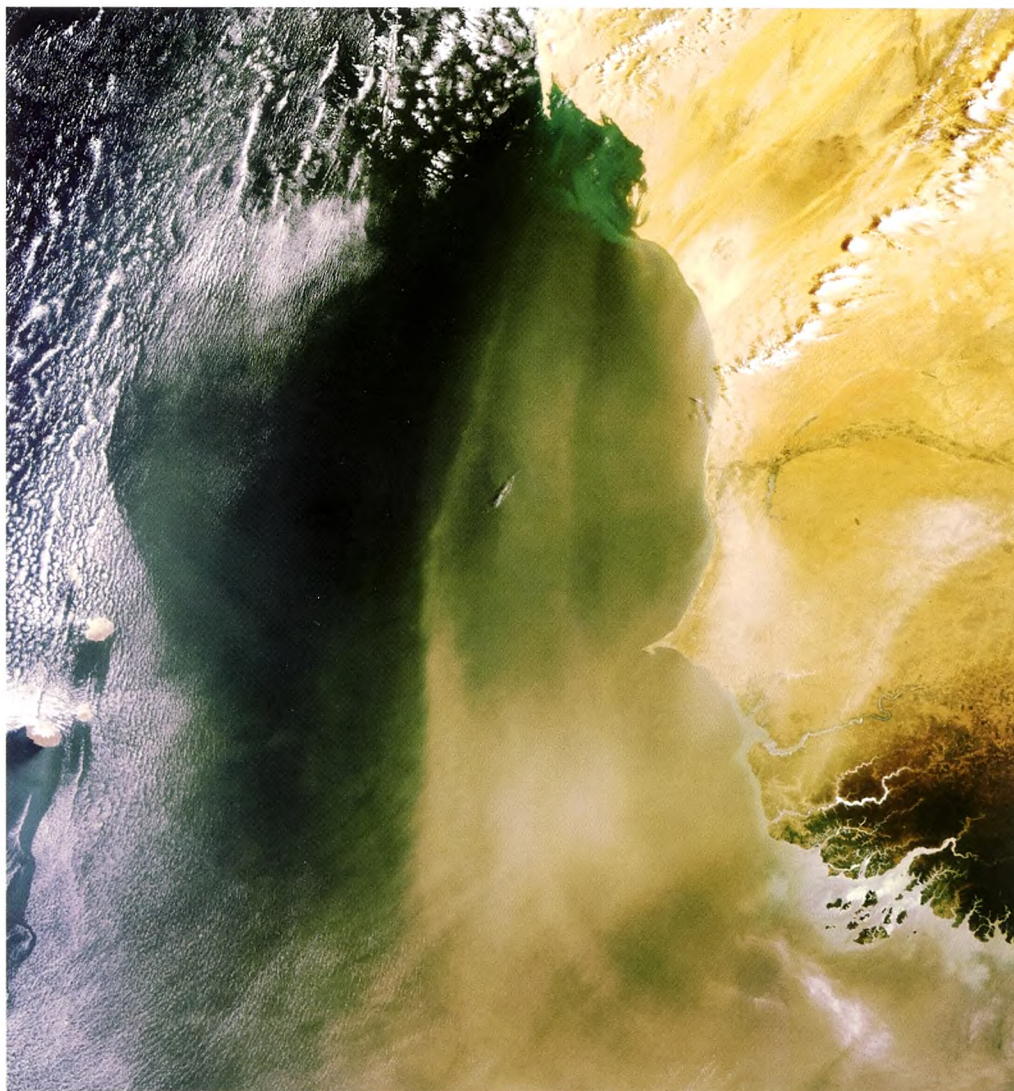
En sandstorm set fra rummet

Den europæiske miljøsatellit Envisat har taget dette billede den 11. april, hvor sand og støv fra Sahara blæses over det atlantiske ocean. Vi kan se kystlinien af Mauretanien (øverst), Senegal, Guinea Bissau (nederst) og de skydækkede Cape Verde øer, der befinder sig ud for Senegals kyst.

Sandstormene er et resultat af atmosfærisk konvektion, hvor den lettere varme luft stiger til vejrs, mens den

tungere og koldere luft kommer ned. Dermed kan sandet bliver transporteret flere tusinde kilometer – helt over til det Caraibiske Hav.

Støvet har stor betydning i Middelhavsområdet, idet støvet er en væsentlig kilde til mineralnæringsstoffer for plankton, der er basisføde for livet i havet. Det er dog ikke kun gode ting, som støvet bringer med sig. Det formodes, at støvet er årsag til sygdom og astma i Caribien.



Sandstorm over Sahara optaget med ESAs Envisat satellit (ESA).