

$$d \frac{1}{2} m v^2 = d \frac{e^2}{h} - \frac{v^2}{c^2} \frac{2}{3} \frac{e^2}{c^3} \frac{dh}{dt}, \quad 1^{st} \text{ approximation}$$

$$m v^2 = p \frac{e^2}{h} = \frac{e^2}{h} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{dh}{dt}\right),$$

$$d m v^2 = d \frac{e^2}{h} + e^2 \frac{dh}{h^2} \frac{dh}{dt}$$

$$\frac{1}{2} d \frac{e^2}{h} - e^2 \frac{1}{h^2} \frac{dh}{dt} = \frac{v^2}{c^2} \frac{2}{3} \frac{e^2}{c^3} \frac{dh}{dt}$$

$$\frac{dh}{dt} = m$$

$$-\frac{1}{2} \frac{dh}{dt} = \frac{v^2}{c^2} \frac{4}{3} \frac{e^2}{c^3} \frac{dh}{dt}$$

$$-\frac{dh}{dt} = \frac{v^2}{c^2} \frac{4}{3} \frac{e^2}{c^3} \frac{dh}{dt}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{4}{3} \frac{e^2}{c^3} \frac{dh}{dt}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{4}{3} \frac{e^2}{c^3} \frac{dh}{dt}$$

$$\frac{dh}{dt} =$$

$$\frac{dh}{dt} = m$$



TEMA OM NIELS BOHR

- NIELS BOHR OG RISØ
- FEJRING AF BOHR-ÅRET
- TRE BØGER OM NIELS BOHR
- BOHRS KVANTETEORI FOR ATOMET
- FØRSINKET REFEREE REPORT TIL BOHR
- KOMPLEMENTARITET I STATSKUNDSKAB
- FYSIKOLYMPIADEN – EN KÆMPESUCCESS
- SIDSTE NYT OM HIGGS-BOSONEN
- NYT FYSIKLEKSIKON PÅ NETTET



KVANT

Tidsskrift for Fysik og Astronomi

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

Hjemmeside : www.kvant.dk
E-mail : kvant@kvant.dk
Facebook  : KVANT.fysiktidsskrift
ISSN (trykt) : 0905-8893
ISSN (web) : 2245-4942

Udgives af

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

Redaktion

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

Foreningsrepræsentanter

Torben Lund Skovhus (SNU),
Teknologisk Institut

Abonnementspris : 180 kr/år.

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

Annoncer

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

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

Tryk

HCB Tryk ApS, Brønderslev.
Oplag: 3200.

Produktionsplan

Nr. 4-13 udkommer ca. 15. december
Nr. 1-14 udkommer ca. 15. marts
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages to måneder før.

Indhold:

Niels Bohr Arkivets bidrag til fejring af Bohr-året <i>Finn Aaserud</i>	3
Tre gange Bohr <i>Anja Skaar Jacobsen</i>	4
Niels Bohr og Risø <i>Jørgen Kjems</i>	7
Fysikolympiaden <i>IPhO 2013</i> blev en kæmpesucces <i>Henrik Bruus og Niels Hartling</i>	11
Niels Bohrs vei til en kvanteteori for atomets struktur <i>Reidun Reistrøm</i>	13
Observatoriet på Østervold i København <i>Michael Quaade</i>	18
Slørtågen i Svanen <i>Michael Quaade</i>	20
Sidste nyt fra LHC om Higgs-bosonen <i>Stefania Xella</i>	21
Forsinket referee report om <i>On the Constitution of Atoms and Molecules</i> <i>Tomas Bohr og Benny Lautrup</i>	24
Foreningsnyt – foredrag i efteråret	27
Komplementaritetsprincippet anvendt i statskundskab <i>Jens Olaf Pepke Pedersen</i>	28
Niels Bohr Institutets fysikleksikon <i>Michael Quaade</i>	30
KVANT-nyheder <i>Sven Munk</i>	31
Stigefald – breddeopgave 55 med didaktisk kommentar <i>Jens Højgaard Jensen</i>	32
Aktuelle bøger <i>Jens Olaf Pepke Pedersen</i>	34
Færøerne venter invasion ved total solformørkelse (Annonce) <i>Erik Fey</i>	35
Fysikårsmøder i DFS og Kif <i>Jørgen Schou og Mette M.-L. Grage</i>	Bagsiden

Billedet på forsiden viser Niels Bohr på vej hjem fra England i sommeren 1912. Med i bagagen havde han skitserne i baggrunden, som viser at brintatomet ifølge den klassiske elektrodynamik er voldsomt ustabil. Dette nummer af KVANT markerer 100-året for Bohrs atommodel med flere artikler. Fotografi baseret på fotos fra Niels Bohr Arkivet, København.

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



Niels Bohr Arkivets bidrag til fejring af Bohr-året

Af Finn Aaserud, Niels Bohr Arkivet

Der er mange arrangementer og begivenheder i Danmark og udlandet, der markerer 100-året for Bohrs atommodel. Niels Bohr Arkivet står for, eller er engageret i, nogle af disse begivenheder. Arkivets største indsats var en videnskabshistorisk konference i midten juni. I efteråret afholdes flere konferencer og en filmfestival og der er udgivet flere bøger.

Videnskabshistorisk konference

En specielt vigtig og vellykket begivenhed var den nyligt afholdte konference "One hundred years of the Bohr Atom 1913-2013", der fandt sted fra den 11.-14. juni 2013, og var organiseret af Niels Bohr Arkivet. Der var foredrag af 34 forskere fra 15 lande. Konferencen blev sponsoreret af Carlsbergfondet og meget passende afholdt i mødelokalet i *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, hvor Bohr var medlem fra 1917 og var den længst siddende præsident fra 1939 frem til sin død i 1962.

Hovedtalen, der var offentlig og åbnede konferencen den 11. juni, blev holdt af videnskabshistorikeren John L. Heilbron. Han er internationalt anerkendt blandt meget andet for sine analyser af Bohrs arbejde med kvantefysik. Hans arbejde med kildemateriale startede allerede i begyndelsen af 1960'erne hvor han, sammen med sin lærer Thomas S. Kuhn, medvirkede i et stort anlagt projekt for at dokumentere kvantefysikkens historie. Projektet inkluderede en række interviews med nøglepersoner – herunder Niels Bohr. Heilbrons artikel med Kuhn fra 1969 [1], om oprindelsen af Bohrs atommodel, er en klassiker som meget af den senere Bohr-forskning bygger på. Åbnings talen med titlen "My courage is ablaze so wildly: Niels Bohr en route to his quantum atom", blev filmet og kan ses på YouTube fra www.royalacademy.dk [2].

Foredragene var inddelt i sessioner der bl.a. præsenterede tekniske aspekter om Bohrs atommodel fra 1913 og udviklingen af kvantemekanikken i 1925/26; Bohrs liv og filosofi; aspekter af Bohrs nationale og institutionelle betydning; Bohrs kreative og poetiske sider; samt formidling af Bohrs atommodel. Program og abstracts kan læses på Arkivets hjemmeside [3]. Der planlægges en conferencebog med artikler baseret på foredragene.

Udgivelse af bøger

På initiativ af forlagsredaktør Lone Bruun blev professor Helge Kragh ved Aarhus Universitet og jeg medredaktører af bogen "Bohr på ny", der indeholder en række nye artikler med forskellige indfaldsvinkler skrevet af et udvalg af forfattere. Bogen, som udkom i juni 2013, henvender sig bredt til et dansk publikum.

I juli 2013 udkom bogen "Love, Literature and the Quantum Atom: Niels Bohr's 1913 Trilogy Revisited", som jeg har skrevet sammen med ovenfor nævnte John L. Heilbron. Baggrunden for denne udgivelse var, at jeg i forbindelse med 100-året fik tilladelse af Bohr-familien til at studere de breve, som Bohr og hans forlovede skrev til hinanden, specielt under Bohrs ophold i England fra september 1911 til juli 1912. Denne korrespondance er ikke tilgængelig for offentligheden. Det har været spændende at arbejde med dette fantastiske materiale, der viser poetiske og andre sider ved Bohr, som hidtil ikke har været kendt. Et udkast til den færdige artikel blev i maj 2012 sendt til Heilbron, der på grundlag af artiklen skrev en ny analyse af Bohrs vej til

atommodellen på basis af ikke mindst den klassiske litteratur som Bohr korresponderede om med sin forlovede. De to nævnte bøger er omtalt inde i bladet.

Udstilling på Det kongelige Bibliotek

Der er flere arrangementer omkring Niels Bohrs fødselsdag den 7. oktober. Niels Bohr Arkivet bidrager til en udstilling på Det Kongelige Bibliotek. Udstillingen, som åbner den 1. oktober, er primært baseret på arkivalier og fotografier, der dokumenterer Bohr arbejde med atommodellen og kvantefysik.

Konference om en "åben verden"

Niels Bohr Arkivet er engageret i en international konference på Københavns Universitet om relevansen af Niels Bohrs idé om en åben verden, i dagens storpolitiske situation. Læs mere om denne konference, der afholdes fra 4.-6. december 2013, på www.bohr-conference2013.ku.dk.

Filmfestival

Den 7.-20. december arrangerer Niels Bohr Arkivet en filmfestival i samarbejde med Cinemateket. Der vil blive vist både danske og udenlandske dokumentarfilm om Niels Bohr, heraf to helt nye, samt hidtil ikke offentliggjorte amatørfilm med og af Bohr. Der vil også være spillefilm, for eksempel TV-versionen af Michael Frayns prisbelønnede teaterstykke "Copenhagen". Filmene bliver indledt af specielt inviterede filmskabere, fysikere og andre relevante personer fra ind- og udland.

Litteratur

- [1] John L. Heilbron og Thomas S. Kuhn (1969), "The Genesis of the Bohr Atom", *Historical Studies in the Physical Sciences* 1, 211-290
- [2] John L. Heilbrons åbningsforedrag, www.royalacademy.dk/John-Heilbron-lecture.aspx?ID=710
- [3] Niels Bohr Arkivet, "100 years of the Bohr atom, 1913-2013", www.nba.nbi.dk/bohramtom100yrs.html



Finn Aaserud, der er uddannet både som fysiker og videnskabshistoriker, er leder af Niels Bohr Arkivet.

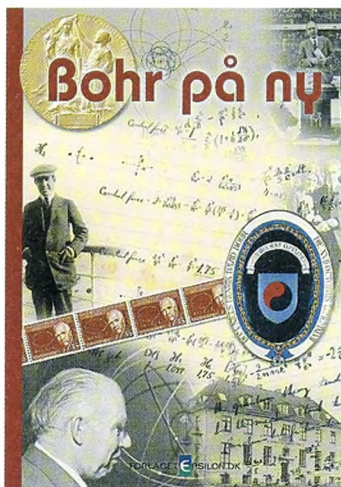
Tre gange Bohr

Af Anja Skaar Jacobsen, Ordrup Gymnasium

2013 er hundredeåret for publiceringen af Niels Bohrs berømte trilogi, "On the constitution of atoms and molecules", hvori han for første gang præsenterede sin model for atomets struktur – et arbejde der, sammen med videreudviklingen af det, indbragte ham Nobelprisen i fysik i 1922. Det fejres med en genoptrykning af trilogien og en hel række nye, spændende publikationer om Bohr og hans atommodel. Her omtales én dansk og to engelske bøger.

Bohr på ny

Redaktion: Lone Bruun, Finn Aaserud og Helge Kragh, "Bohr på ny", Forlaget Epsilon 2013, 224 sider, 270 kr. www.forlagetepsilon.dk.



Den første bog, der skal nævnes her, er en antologi bestående af hele fjorten artikler skrevet af en række af landets bedste forskere (og en svensk) inden for hver deres felt samt et par rørende artikler om Bohr som farfar og ven skrevet af hhv. to børnebørn, Tomas og Wilhelm A. Bohr, og nu afdøde industrimagnat, Haldor Topsøe. Bogen er dedikeret til David Favrholt for hans mangeårige virke som formidler af Bohrs filosofi. Artiklerne er henvendt til lægfolk, og bogen er rigt illustreret med mange flotte fotos fra Niels Bohr Arkivets gemmer. Som det ofte er tilfældet med antologier, er kvaliteten dog ujævn. Det hænger naturligvis sammen med, at ikke alle emner er lige lette at formidle til det brede publikum, og ikke alle mesters formidlingskunst i lige høj grad. Det er heller ikke alt, der er lige nyt, jævnfør titlen. Men alt i alt kan bogen varmt anbefales, og specielt til gymnasieskolerne. På grund af pladmangel er jeg desværre nødsaget til at være yderst økonomisk med kommentarerne.

Det tredje afsnit i bogen handler om Bohr og fysikken. I gymnasiets fysikundervisning er Bohrs pandekageatom en del af pensum, fordi det så nemt kan visualiseres og er meget pædagogisk. I undervisningen bruger vi også rask væk betegnelsen elektronbaner, ja i kemi taler vi endda om elektronskaller! Helge Kragh har passende leveret to gode afsnit om atommodellens historiske udvikling, der kort opsummerer indholdet af hans omfattende bog om samme (se anmeldelse nedenfor). Anja C. Andersens meget velskrevne artikel om opdagelsen af hafnium og stoffets betydning i astrofysikken i dag kan umiddelbart indgå i gymnasiets fysikundervisning. Kvantefysikken må i mine øjne kandidere

til det næste emne i gymnasiebekendtgørelsens "Fysik i det 21. Århundrede". Klaus Mølmer beskriver i en medrivende artikel, hvordan man i dag i laboratoriet kan manipulere med de selvsamme paradoksale kvantemekaniske effekter, som Einstein og Bohr diskuterede i starten af 1900-tallet ved at forestille sig sindrige tankeeksperimenter. Det drejer sig om fænomener som *partikel-bølgedualiteten*, at partikler tilsyneladende kan være flere steder på samme tid, og at partikler kan optræde i korrelerede par. Læseren får her et spændende indblik i, hvor langt man er i udviklingen af teknologien til kvantecomputere og kvantekryptering.

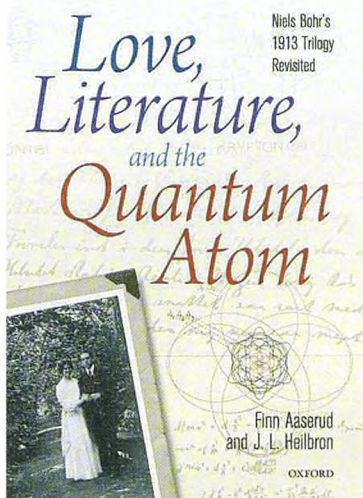
Det sidste afsnit handler om Bohr og filosofien. David Favrholt's artikel om Bohrs erkendelsesteori og sprogets rolle heri er nok den, der bedst kan forstås af gymnasieelever. Erkendelsesteorien handler om, hvordan vi som både deltagere i og tilskuere til verden kan opnå viden om selvsamme verden. Henrik Zinkernagels artikel er en flot og klart forståelig diskussion (hvis man er lidt inde i kvantemekanik) af Bohrs filosofiske ståsted mellem det, Zinkernagel kalder kvantisk og klassisk virkelighed. Det ville dog være mere i Bohrs ånd, hvis de filosofiske diskussioner om f.eks. kvantefundamentalisme og måleproblemet blev holdt op imod de nyeste kvanteoptiske eksperimenter, for det er jo faktisk det, der filosoferes over. Ellers bliver det filosofi for filosofiens egen skyld alene med henvisning til den kvantemekaniske formalisme, og det er synd og skam. Jan Faye kommer kort ind på såkaldt kvantedekohærens i hans diskussion af forskellige fortolkninger af kvantemekanikken. Jeg havde gerne set en uddybende analyse af den ide og i hvilken grad, der er sammenfald med Bohrs tanker.

Bohr var ikke bare et fysikgeni, han besad også en sjælden sans for visionært lederskab, hvilket åbenbares i de fem artikler i afsnittet om Bohr i politik og samfund. Man kan mærke, at Henrik Knudsen og Henry Nielsen har noget på hjerte i deres indsigtfulde analyse af, hvordan Bohrs enorme arbejdskraft kom både det internationale videnskabelige samarbejde og den nationale forskningspolitik til gode. Samtidig forstår forfatterne at gøre brug af det danske sprog, så det er en fryd at læse om det, måske ellers for nogen, lidt tørre stof. Bohr benyttede sig naturligvis af sin høje anseelse i videnskabelige og politiske kredse, og ved hjælp af Rask-Ørsted Fonden sørgede han for at udnytte Danmarks unikke rolle som det lille neutrale land i den særlige udenrigspolitiske konstellation i mellemkrigstidens Europa til at sikre sit institut en solid position både nationalt og internationalt. Finn Aaserud følger op på emnet og fortæller om den ganske specielle atmosfære på instituttet, der blev kaldt "københavnerranden" af de besøgende forskere. I 1930'erne spillede instituttet som bekendt en vigtig rolle som tilflugtssted for fysikere, der flygtede fra Tyskland af racistske og politiske årsager. Det er forfriskende at læse Karl Grandins velskrevne og interessante artikel om Bohrs

betydning i det svenske fysikersamfund. Bohr havde først og fremmest en nær ven og videnskabelig støtte i Carl Wilhelm Oseen, der sad centralt placeret i Nobelkomiteen. Læseren får derudover indblik i Bohrs store engagement i forbindelse med oprettelsen af Atomenergikommissionens Forsøgsanlæg Risø af Hans von Bülow, som var chef i kommissionen. Aaserud afslutter afsnittet med en artikel om Bohrs engagement på den storpolitiske scene i form af hans diplomatiske enmandskamp for en åben verden. Idéen tog afsæt i realiseringen af atombomben og indebar forhandlinger med ingen ringere end Winston Churchill og Franklin D. Roosevelt. Bohr fortsatte med at promotere idéen i efterkrigstiden og under den kolde krig, for at forhindre våbenkapløbet, men desværre uden den store gennemslagskraft.

Bohrs kærlighed og korrespondance

Af: Finn Aaserud og John L. Heilbron, "Love, Literature and the Quantum Atom. Niels Bohr's 1913 Trilogy Revisited", Oxford University Press 2013, 284 sider, ca. 35 pund (ca. 300 kr). <http://ukcatalogue.oup.com>.



Denne bog indeholder en genoptrykning af Bohrs trilogi, som faktisk er ret læseværdig, men bogens primære ærinde er to meget interessante videnskabshistoriske tekster skrevet med trilogien som omdrejningspunkt. I forbindelse med jubilæumsåret har Bohr-familien stillet hidtil tilbageholdt korrespondance mellem de ny-forlovede Margrethe Nørlund og Niels til rådighed for Niels Bohr Arkivets leder Finn Aaserud. Gennem studiet af denne korrespondance kaster Aaserud nyt lys på Margrethes, og Niels' øvrige families, rolle i denne vigtige formative periode af hans karriere, mens professor emeritus ved University of California, Berkeley, John L. Heilbron, anvender brevene til at analysere atommodellens oprindelse på ny.

Det er velkendt, at Bohr var født ind i en meget privilegeret familie, der stadig hører til Københavns intellektuelle elite. Men det er alligevel overraskende, hvor udtalt familiens opbakning af Niels' karriere var, ikke mindst hos de meget målrettede og ambitiøse kvinder, hans mor Ellen og hans moster, Hanna Adler. Margrethe blev grundigt forberedt på, hvad der skulle være hendes rolle i det fremtidige ægteskab med Niels, ikke mindst af sin kommende svigermor. Man skal naturligvis huske på, at det var en helt anden tid; som hustru i bedre kredse var man sidevogn til manden, men det var en på sin måde betydningsfuld og anerkendt funktion dengang. For Ellen var det vigtigt, at hendes søns fremtidige hustru kunne forstå "vores Nielsemand", og at hun ville støtte op om hans karriere og hjælpe ham med hans kreative

videnskabelige arbejde. Margrethe forberedte sig bl.a. ved at læse biografier "om virkelig store Mænd." Niels bad hende træde ind i rollen som "mor" for hans fremtidige elever, hvilket hun gjorde. Der er ingen tvivl om, at hun blev en uundværlig støtte for sin mand, og der er ingen tvivl om, at der bag denne store mand stod en hel række stærke kvinder.

I sit anderledes og meget lærde essay, "Nascent science: The scientific and psychological background to Bohr's Trilogy," understreger Heilbron, at atommodellen *ikke* var en *opdagelse* på lige fod med f.eks. J. J. Thomson's opdagelse af elektronen; atommodellen var en *opfindelse*. Det blev allerede understreget i den berømte artikel, som Heilbron skrev med Thomas S. Kuhn i 1969 med titlen "The genesis of the Bohr atom." Med det in mente argumenterer Heilbron for, at den kronologiske udvikling af kvanteteorien ikke er den samme som den man kunne have forventet rent logisk; for bølgemeknikken, der blev udviklet i årene 1925-1926, kan overraskende nok udledes direkte af Max Plancks strålingsteori fra 1900! Men historien tog altså en omvej omkring Bohrs teori for atomets struktur. Selvom man måske ikke kan benægte, at en sådan kontrafaktisk udvikling fra Plancks strålingsteori direkte til bølgemeknikken er mulig rent logisk, strider den voldsomt mod det billede af fysikkens udvikling, man kender. Der ligger også i denne tænkte logiske udvikling en forestilling om fysik som ren teori, endda som ren matematik. For hvor kommer de mange eksperimentelle opdagelser i perioden ind i det billede? Men lad nu det ligge. Pointen, Heilbron vil have frem, må man formode, når han trækker det så skarpt op, er, at historien som oftest viser sig *ikke* at følge en logisk udvikling. Og det fordrer så en forklaring på, hvorfor historien fulgte sin egen rute. Videnskabshistorikerens opgave er dels at *beskrive* den kronologiske udvikling, men også at forsøge at *forklare* den. Heilbrons forklaring på den omvej, fysikhistorien tog omkring Bohrs atommodel, er, at der eksisterer "store mænd" (af begge køn), hvis specielle karisma og psyke, i Bohrs tilfælde i form af en kolossal selvbevidsthed og en nærmest manisk drivkraft, kan give retning til en hel videnskab. Det er en besnærende og interessant tanke, der ikke helt kan afvises, men den kan heller ikke stå alene. Heilbron fortolker de nye breve derhen, at Bohr næsten var besat af tanken om at skabe noget stort, da han drog til England, og at han blev bakket fuldstændig op hjemmefra i, at han var bestemt til at udføre noget stort.

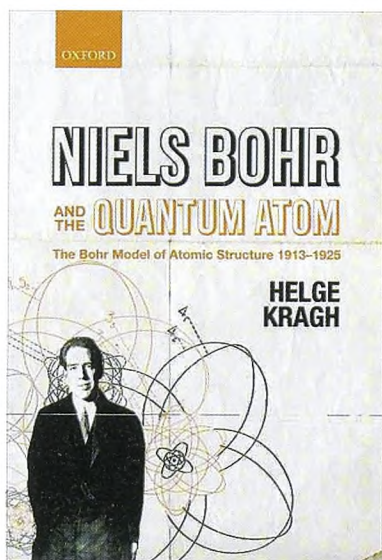
Heilbron har også nærlæst Bohrs tidlige arbejder og doktorafhandlingen om metallernes elektronteori og viser ad den vej, at Bohr til fulde beherskede den traditionelle matematiske fysik. Bohrs geni lå imidlertid i, at han samtidig kunne frigøre sig fra traditionen og tænke nyt. Allerede i sin doktorafhandling gjorde Bohr det klart, at den klassiske fysik er utilstrækkelig i beskrivelsen af atomare fænomener. Mange har spurgt, hvad kilden kunne være til denne meget tidlige overbevisning hos Bohr, samt til hans sidenhen så berømte erkendelsesteori, der slog rod i samme periode. Som oftest har de søgt i den filosofi, som Bohr læste, da han tog Harald Høffdings filosofikum. Som allerede nævnt i Aaseruds første del rummer korrespondencen mange eksempler på henvisninger til bl.a. Kierkegaard, Ibsen, Carlyle og Goethe. Referencerne til litteraturen anvendes af både Aaserud og Heilbron til refleksioner over Niels og Margrethes kærlighed. Heilbron går skridtet videre og dokumenterer, at den litteratur og poesi, Bohr var så velbevandret i, samt et romantisk sværmeri for det nordiske, må tages i betragtning som kilder til Bohrs heroiske skridt væk fra den klassiske fysik.

Underligt nok nævnes det mest radikale ved Bohrs atomteori, nemlig kvantepostulaterne, der stadig holder den dag i dag, kun i forbifarten. Artiklen er ellers aldeles rig på

fysikhistoriske detaljer og er ikke nem læsning, men det er jo nogen gange det, der er svært, man bliver mest nysgerrig på. Teksten henvender sig mest til dem, der kender den historiske udvikling i forvejen. Den artikel Heilbron skrev med Kuhn i 1969 er mere læsevenlig og kan med fordel konsulteres som baggrund. Eller man kan anskaffe sig Helge Kraghs grundige bog om emnet.

Videnskabshistorisk standardværk

Af: *Helge Kragh*, "Niels Bohr and the Quantum Atom. The Bohr Model of Atomic Structure 1913-1925", Oxford University Press 2012, 410 sider, ca. 35 pund (ca. 300 kr). <http://ukcatalogue.oup.com>.



Denne bog er en ren kraftpræstation, der kandiderer til at blive standardværket om kvanteatomet. Helge Kragh giver her et omfattende og detaljeret portræt af Bohrs atomteori, dens tilblivelse, modtagelse, udvikling og forkastelse. Stilen er, i modsætning til hos Heilbron, empirisk og nøgtern. I sin forklaring på atomteoriens oprindelse citerer Kragh Bohr for, at den var udledt ad empirisk vej. Men ikke nok med det; Kragh dokumenterer også gennem talrige eksempler, at atomteorien fik den form den fik, for at den som en puslebrik kunne passe med den lange række af eksperimentelle kendsgerninger i form af linjespektre, røntgenspektre, lysets dispersion i gasser, astrofysiske observationer og ikke mindst kemiske egenskaber. Atomets skulle både give et bud på grundstoffernes elektronkonfiguration, på om de radioaktive β -partikler kommer fra atomets kerne eller fra dets elektronkonfiguration, og på hvorfor grundstoffer med forskellig vægt udviste samme kemiske egenskaber. I bogen sammenlignes Bohrs beregnede fysiske størrelser løbende med de eksperimentelt fundne. Kragh viser på den måde, at der var empirisk evidens for mange af Bohrs resultater. Han studser ikke over Bohrs tidlige overbevisning om, at atomer skal beskrives med kvanteteori, og han afviser pure, at Bohrs filosofiske læsning skulle have haft indflydelse på hans teori!

Kragh gennemgår udviklingen fra Bohrs pandekageatom til Arnold Sommerfelds forbedring af det i form af de smukke elliptiske baner i tre dimensioner, en model man ofte har set anvendt som selve symbolet på fysikken. Snart opgav fysikerne dog modellen, idet den var urealistisk. I 1924 forkastede fysikerne, med Wolfgang Pauli og Werner Heisenberg i spidsen, ideen om, at elektronerne bevæger sig i bestemte baner, og teorien blev endeligt forkastet i 1925. Grunden var, blandt flere andre, at den ikke kunne redegøre for selv det næstsimpleste grundstof, helium, men begrænsede sig til primært at kunne redegøre for hydrogenagtige

atomer. I næsten samme åndedrag som teorien blev opgivet, blev den nye kvantemekanik formuleret, i første omgang af fysikerne Heisenberg og Max Born. Kvantepostulaterne om eksistensen af stationære tilstande og frekvensbetingelsen, der siger, at energiforskellen mellem to stationære tilstande er Plancks konstant gange frekvensen af det udsendte lys, var på lang sigt det eneste, der overlevede fra den oprindelige model.

Bogen omhandler også, hvordan teorien blev både positivt og negativt modtaget i England, Tyskland og Amerika, og det er spændende læsning, for Bohrs ideer provokerede ved deres radikalitet. Det mest overraskende, og for mange det mest uspiselige, var, at man ifølge Bohr skulle skelne mellem elektronens omdrejningsfrekvens og frekvensen af det udsendte lys. En del kritik gik på, at modellen ikke gav noget bud på en fysisk mekanisme for strålingsudsendelsen. Bohrs mentor, Ernest Rutherford, stillede således spørgsmålstejn ved akausaliteten i kvantespringet: Er det en form for teleologisk opførsel, der gør, at elektroner, når den forlader sin bane, allerede ved, hvilken bane den vil lande i? Selv lagde Bohr ikke skjul på, at det kunne hans teori ikke svare på. Til gengæld vandt det stor respekt, at modellen blandt meget andet spyttede en eksakt værdi af Rydbergkonstanten ud. Vi får i denne del af bogen også et interessant indblik i, hvordan Bohr valgte sine debatter med modstanderne af hans atomteori med omhu.

Den historiske udvikling går ofte på tværs af faglige discipliner. Således appellerede Bohr både til kemikere og fysikere med sin atom- og molekylmodel. Kragh favner imidlertid ikke kun dybt, men også bredt, og han leverer ligeledes en grundig behandling af den kemiske side af historien inklusiv kemikernes reaktion på atomet, som ellers ofte levnes meget lidt plads i fysikhistorisk sammenhæng. Bogen har en stram struktur og en klar rød tråd: Fysikken (og kemien) holdes for øje. De matematiske resultater præsenteres, mens matematiske teknikaliteter er udeladt. Kragh synes primært at skrive for fysikere og fysikhistorikere, og bogen fremstår sine steder lidt nørdet indforstået. Men den stramme opbygning gør det svære stof overskueligt og gør bogen god at slå op i, hvis man er interesseret i bestemte aspekter af udviklingen. Det er derfor heller ikke noget problem at springe et afsnit over eller læse det mere kursorisk.

Som Kragh nævner i indledningen til bogen "Bohr på ny" (anmeldt ovenfor), nyder Bohrs erkendelsesteori i dag stor bevågenhed blandt filosoffer. Men det får vi slet ikke indblik i gennem Kraghs afsluttende appendiks: "The philosopher's atom." Det er i stedet en meget kort diskussion af 1970'ernes videnskabsteorier i form af bl.a. Kuhn, Karl Popper, Imre Lakatos og Paul Feyerabend, og virker som sådan mest af alt som et fjernt ekko fra en svunden tid.



Anja Skaar Jacobsen er gymnasielærer i fysik og kemi på Ordrup Gymnasium. Hun har en ph.d.-grad i videnskabshistorie fra Aarhus Universitet på en afhandling om H. C. Ørstedes kemi og filosofi og blev i 2012 dr.scient. ved Københavns Universitet på afhandlingen Léon Rosenfeld: Physics, Philosophy, and Politics in the Twentieth Century (World Scientific, 2012). Hun brænder for sine fag og deres historie, teori og filosofi og ikke mindst for sin undervisning.

Niels Bohr og Risø

Af Jørgen K. Kjems, fhv. administrerende direktør, Forskningscenter Risø

Niels Bohr spillede en afgørende rolle i etableringen af Atomenergikommissionen og Forskningscenter Risø. I et hektisk forløb fra efteråret 1954 til december 1955 blev der skabt politisk opbakning til dannelsen af en atomenergikommission med Niels Bohr som formand og til opførelsen af Forskningscenter Risø med tre forskningsreaktorer. En sammenligning med tilblivelsen af nyere forskningsfaciliteter som ESRF og ESS viser, at nutidens beslutningstagere kunne lære af den omhu, hast og effektivitet, hvormed Niels Bohr og hans samtidige byggede Risø.



Figur 1. Risø-halvøen omkring 1950 før opførelsen af forsøgsanlægget.

Bohrs vision og handlekraft

Den moderne fysiks gennembrud i begyndelsen af det tyvende århundrede fik store politiske og praktiske konsekvenser. Niels Bohrs virke som forsker og mentor placerede ham centralt i den videnskabelige udvikling, og hans brede samfundengagement satte sig spor på den politiske front. Her er en kort version af fortællingen om Niels Bohr, Atomenergikommissionen og Risøs tilblivelse, der illustrerer en vigtig del af hans forskningspolitiske virke. En væsentlig kilde er bogen "Til samfundets tarv" [1], som blev udgivet i anledning af Risøs 40 års jubilæum.

Opbygningen af Forsøgsanlæg Risø (senere Forskningscenter Risø) blev Atomenergikommissionens hovedopgave. Den skulle forberede en dansk udnyttelse af kernekraft. Bohr tillagde det stor betydning, at man både i lovteksten og bemærkningerne til lovforslaget benyttede bløde almene formuleringer. Arbejdet skulle sigte mod "samfundets tarv". Her tænkte ikke blot på anvendelsen af atomenergien til fremstilling af elkraft. Det måtte også være til samfundets tarv at holde industriens muligheder for at deltage i udviklingen åbne og – ikke mindst – at fremme den videnskabelige forskning i bredeste forstand inden for dette nye erkendelsesområde. Således bidrog man til landets almindelige placering blandt kulturnationer i de fælles bestræbelser på at udnytte atomenergien til menneskets bedste [2]. Det var bl.a. denne visionære tilgang, som sikrede, at arbejdet på Risø fik et stærkt islæt af grundlæggende forskning med en bred vifte af forskningsfaciliteter og faglige kompetencer. De politiske mål med Risøs indsats ændrede sig meget i løbet af Risøs 50 år som selvstændig institution fra kernekraft til vedvarende energi. Det

brede faglige fundament muliggjorde denne omstilling og sikrede Risøs samfundsmæssige nyttevirkning.

Et andet beundringsværdigt aspekt af historien om Niels Bohr og Risø er den omhu, hast og effektivitet, hvormed opbygningen af Risø blev gennemført. Det vidner om den anseelse og respekt, som Niels Bohr var omgærdet af, og som gav ham stor gennemslagskraft også i praktiske og økonomiske forhold. I efteråret 1954 gik Niels Bohr direkte til statsminister Hans Hedtoft med sit forslag om en Atomenergikommission. Baggrunden for Bohrs henvendelse var et forberedende arbejde i Akademiet for de Tekniske Videnskaber (ATV) i en gruppe med ham som formand. Dette arbejde var startet, fordi USA i 1953 havde ændret politik vedrørende kernekraft og atomvåben. Indtil da havde udviklingen været omgærdet af stor hemmeligholdelse i et internationalt kapløb om at være i front på begge aspekter. Alle stormagterne havde startet intensive programmer, som fx "dual purpose" programmet i UK, der var rettet både mod den civile og militære udnyttelse. Både Norge og Sverige havde kort efter krigen startet deres egne programmer. Således blev en norsk forsøgsreaktor baseret på brug af tungt vand allerede startet i 1951 i samarbejde med Holland.

Præsident Eisenhower annoncerede i en tale i FN i 1953 sin "Atoms for Peace"-politik. USA var villig til at hjælpe nationer med den fredelige udnyttelse af kernekraft mod at de underskrev ikke-spredningsaftalen vedrørende atomvåben. Mange lande – herunder Danmark – tilsluttede sig traktaten, og det Internationale Atomenergi Agentur, IAEA, oprettedes i Wien og har fortsat opgaven med at kontrollere fremstilling og brug af fissilt materiale i henhold til den internationale traktat. Bohr havde på grund af sit virke under krigen i forbindelse med Manhattan-projektet, og sine henvendelser til FN efter krigen, følt sig bundet af loyalitet med USA og UK. Han havde ikke arbejdet aktivt for at starte en dansk udnyttelse af kernekraftteknologien før stormagterne gav grønt lys hertil.

Den danske situation

Krigen havde efterladt Danmark som et relativt fattigt, men velfungerende landbrugsland. Afhængigheden af importeret energi var stor, og mange varer var rationerede. Den såkaldte Marshall-hjælp fra USA i

årene 1948-51 havde støttet modernisering af både landbruget og industrien, men det gik kun langsomt fremad. Socialdemokratiet dannede regering i 1953 med en dagsorden om at sætte fart i industrialiseringen, og Hans Hedtoft blev statsminister. Da nyheden om USA's villighed til at dele kernekraftteknologi med andre lande nåede Danmark, nedsatte ATV i foråret 1954 en lille arbejdsgruppe med Niels Bohr i spidsen. Gruppen skulle afsøge de danske muligheder for at komme med i denne udvikling. ATV – Akademiet for de Tekniske Videnskaber – blev stiftet før krigen i 1937 af en kreds af forskere og erhvervsfolk med rektor for den polytekniske læreanstalt i spidsen, og havde til formål at fremme den teknisk-videnskabelige udvikling og teknologifornyelse i industrien.

Niels Bohr havde gode personlige relationer til ledende personer i både det amerikanske og det britiske program, og på sine rejser i 1954 modtog han positive tilkendelser fra begge sider om samarbejdsvilje. I efteråret 1954 havde ATV-gruppen anbefalingerne klar, og Bohr opsøgte statsminister Hedtoft og finansminister Viggo Kampmann for at få politisk opbakning. Regeringens ledende ministre så ATV's forslag som en mulighed for at fremme industrialiseringen af landet i lige så høj grad som en mulighed for på sigt at sikre og billiggøre energiforsyningen. Regeringens positive svar kom i form af et brev af 26. januar 1955 fra Hedtoft til Bohr, som meddelte, at regeringen agtede at nedsætte en Forberedende Atomenergikommission med Niels Bohr som formand.

Hedtoft døde i Stockholm få dage senere, og H.C. Hansen blev statsminister. Han fastholdt tilsagnet, og Den Forberedende Atomenergikommission med 15 medlemmer med baggrund i forskning, industri, elværker og centraladministrationen holdt sit første møde den 18. marts 1955. Allerede den 10. juni samme år indgik regeringen de nødvendige samarbejdsaftaler med USA og UK, der sikrede leverancer af både udstyr og beriget uran til det danske atomprogram. Bohr havde forberedt dette under sine besøg i UK og USA i efteråret 1954. Det var Bohrs fortjeneste, at det lykkedes at få støtte på meget favorable vilkår til bygning af to avancerede forsøgsreaktorer. Dette gav Danmark større frihed til at vælge mellem forskellige teknologier og leverandører til kommende kernekraftværker. I december 1955 blev loven om den permanente Atomenergikommission énstemmigt vedtaget i Folketinget.

Loven gav grønt lys for opførelsen af Forsøgsanlæg Risø, som krævede en anlægsinvestering på 2 mia. kr. (2013-priser omregnet ved hjælp af prisindeks fra Danmarks Statistik) fordelt i perioden 1956 til 1963, og en årlig driftsbevilling stigende til 500 mio. kr. (2013-priser) i 1961. Fuldt udbygget blev det en organisation med ca. 750 medarbejdere. På det tidspunkt var det en historisk stor satsning på forskning og teknologiudvikling, som bl.a. blev accepteret, fordi Danmark i samme periode var i en kraftig økonomisk udvikling med en gennemsnitlig årlig vækst på 5,3 % i perioden 1957-1965.

Anlægget af Risø foregik i et forrygende tempo: I 1956 køb af tre landbrugsejendomme ved Roskilde fjord, projektering og igangsættelse af byggeri, kontrakt om leverancer af reaktorerne DR1 og DR2 med amerikanske firmaer, rejsegilde på de første bygninger. I 1957 kontrakt med et britisk firma om leverance af DR3 og opstart af DR1. I 1958 kontrakt om leverance af en elektronaccelerator, officiel indvielse, opstart af DR2. I 1960 opstart af DR3.



Figur 2. Forskningscenter Risø fuldt udbygget. Billede fra jubilæumsåret 1998.

Sammenlignet med tilsvarende forløb i de senere årtier var dette en meget hurtig proces, som på kort tid skabte en forskningsinstitution af international kaliber med en vifte af forskningsfaciliteter, der understøttede både grundlæggende og målrettet forskning. Spørger man, hvordan det kunne lade sig gøre, er der flere grunde:

1. Risø blev skabt efter amerikanske og engelske forbilleder, hvor Manhattan-projektet havde sat en ny standard for handlekraft og effektivitet, som afspejledes i de nye nationale forskningscentre (National Laboratories), der blev opbygget i de fleste af de nuværende OECD lande;
2. der var politisk konsensus om at satse kraftigt på en samfundsudvikling båret af uddannelse, forskning og teknologiudvikling. Investeringerne i Risø blev efterfulgt af store udbygninger af universiteter fx det nye campus til DTU i Lyngby, og
3. Niels Bohr blev i Atomenergikommissionen og i det forberedende arbejde suppleret af andre personligheder med unikke talenter, såsom departementschef Hans Henrik Koch og civilingeniør Haldor Topsøe.

Hans Henrik Koch

Departementschef H. H. Koch havde spillet en ledende rolle under det såkaldte departementschefestyre i krigens sidste år og havde bl.a. organiseret de danske Hvide Røde Kors Busser, der i marts-april 1945 – som led i Folke Bernadotte aktionen – hentede danske og andre skandinaviske fanger hjem fra de tyske koncentrationslejre.

Hans biografi i Danmarkshistorien.dk [3] beskriver ham således: "Hans Henrik Koch var en indflydelsesrig og velanskrevet embedsmand, der arbejdede aktivt for at fremme sociale og videnskabelige sager. En sådan

politiserende aktivitet kunne dog også fremkalde betænkelighed. Således betegnede den konservative Poul Sørensen engang – og sikkert med en vis ret – konstellationen Niels Bohr/Hans Henrik Koch i Atomenergikommissionen som “farlig for statskassen.” H. H. Koch var formand for kommissionens forretningsudvalg, der traf alle de løbende beslutninger på ugentlige møder. Den politiske tæft og administrative effektivitet kan i høj grad tilskrives ham.

Haldor Topsøe

Haldor Topsøe var den visionære teknolog med det store overblik. Han havde med succes startet sit eget firma i 1940. Han var med fra starten, først som medlem af ATV's arbejdsgruppe og senere som medlem af Atomenergikommissionen. Han deltog som den tekniske ekspert i forhandlingerne om de store leverancer af forsøgsreaktorer og andre anlæg. Gennem alle årene var Haldor Topsøe en stærk fortaler for symbiosen mellem grundlæggende forskning, teknologisk udvikling og industriel anvendelse. Han kaldte det selv for samklang mellem forskning og forretning, som på afgørende vis kunne forkorte vejen fra ny erkendelse til industriel nyttiggørelse.

Sammenligning med nutidens projekter

Det sætter skabelsen af Forskningscenter Risø på mindre end fem år i perspektiv, når man sammenligner med tilblivelsen af nutidens store forskningsinstitutioner som synkrotronstråleanlægget ESRF i Grenoble og neutronfaciliteten ESS, der er under etablering i Lund [6]. Disse to anlæg er meget sammenlignelige med Risø i størrelsen af investeringer, driftsbudgetter og personale, men de er etableret som internationale konsortier med mange europæiske lande som andelshavere.



Figur 3. European Synchrotron Radiation Facility, ESRF, i Grenoble [4].

De første planer om ESRF blev konkretiseret i 1975. De repræsenterede det europæiske bidrag til udviklingen af de nye synkrotronanlæg til frembringelse af intens røntgenstråling, der var godt i gang verden over. Tilblivelsen af ESRF frem mod indvielsen i 1994 forløb gennem en række faser, der dels skulle modne projektet teknisk og dels skulle skaffe den nødvendige politiske opbakning. I de første faser var projektet hjemmehørende i European Science Foundation (ESF), som ikke

selv rådede over de nødvendige finansielle resurser, men som havde anseelse og autoritet til at stå for planlægningen. I 1984 foranledigede ESF en licitation om værtskabet for ESRF, hvor bl.a. Danmark deltog med et forslag om placering ved Risø. Der var andre bud fra institutioner og lokaliteter i Tyskland, Italien og Frankrig. Efter deisen, at den der betaler bestemmer, indgik Tyskland og Frankrig i 1986 en aftale om 1) at betale op til 80 % af omkostningerne, 2) at placere ESRF i Frankrig og 3) at invitere andre lande med som deltagere. Denne kortslutning af den politiske beslutningsproces vakte en del furore i forskerkredse – især i de mindre lande. Men det satte skub i realiseringen, så et Europæisk konsortium blev dannet i 1988, byggeriet kunne sættes i gang i 1989 og tages i brug i 1994. Det tog således ca. 15 år fra det tidspunkt, hvor der lå et endeligt design til ESRF kunne indvies.

Processen med etablering af ESS i Lund har været endnu mere langsommelig. De første skridt blev taget – ligeledes i ESF – i 1990, og der forelå et færdigt teknisk design i 1998. Det var tilvejebragt af et konsortium af forskningsinstitutioner i Europa med ansvar for neutronspretningsfaciliteter, herunder Risø. Designarbejdet var støttet af EU og var iværksat på foranledning af anbefalinger fra ESF og OECD's Megascience Forum. Man så et globalt behov for tre acceleratorbaserede spallationskilder til afløsning af de mange forskningsreaktorer, som nærmede sig slutningen af deres tekniske levetid. Med henblik på at samordne de nationale beslutningsprocesser om store forskningsfaciliteter i EU, etablerede Europakommissionen i 2002 et European Strategic Forum for Research Infrastructures, ESFRI. Et af de første projekter på ESFRI's dagsorden blev ESS. Det resulterede i første omgang i en samlet strategi for udviklingen af neutronkilder i Europa, hvor ESS var flagskibet. Strategien blev vedtaget på et møde i begyndelsen af 2003, dog var der på dette tidspunkt ikke tilstrækkelig opbakning til at starte realiseringen af ESS.

I 2004 fik ESFRI et mandat fra EU's ministerråd til at lave et såkaldt “roadmap”, der kunne hjælpe en fælles implementering af ESS og andre lignende store forskningsfaciliteter under planlægning. Den første udgave af ESFRI's Roadmap udkom i 2006 og omfattede 35 store projekter (udvalgt blandt omkring 1000 forslag). ESS projektet var blandt de udvalgte, og på det grundlag gik Sverige, Spanien og Ungarn videre med nationale planer om at blive værtsland. På et møde den 28. maj i 2009 besluttede EU's ministerråd, at ESS skulle placeres i Lund, og Sveriges regering gik straks videre med at vinde opbakning til projektet fra en række lande. Man er nu nået langt med et konsortium af 17 lande, som i 2011 har indgået en principaftale om realiseringen af ESS i Lund. Finansieringen er endnu ikke faldet helt på plads, selvom der planlægges med byggestart i 2015 og indvielse omkring 2020. I bedste fald vil der gå omkring 25 år fra forelæggelsen af et teknisk design til en kommende indvielse af ESS.

Ved at sammenligne de 5 år, det tog at skabe Risø med de 15 år, det tog at etablere ESRF, og de omkring 25 år det kommer til at tage at etablere ESS, må man huske at Risø blev til ved en national beslutning, hvor de to andre institutioner krævede international konsensus. Man kan også hævde, at beslutningsprocesserne med etableringen af ESFRI er blevet mere gennemsigtige og dermed mere omstændelige, men det har ikke fremmet beslutningsevnen og tempoet. Nutidens beslutningstagere kunne lære meget af Bohr, Koch, Topsøe og Kampman.



Figur 4. Illustration af det planlagte ESS i Lund [5].

Selve bygningen af ESRF foregik lige så effektivt som bygningen af Risø, og det må man også forvente af ESS, når først beslutningen om at bygge er taget og budgetterne hertil er tilvejebragt. Det er ikke på den front problemerne ligger.

Risøs betydning

I 50 år – frem til sammenlægningen med DTU i 2007 – satte Risø tydelige spor i den internationale forskningsverden og i udviklingen af energiteknologier til brug i Danmark. At det blev vindkraft og ikke atomenergi, der blev den foretrukne teknologi skyldtes en række

samfundsmæssige og politiske omstændigheder, som det vil gå for vidt at uddybe her. Risø lever videre som en vital del af DTU. Risøs duale videnskabelige kultur, grundlagt af Niels Bohr og de første ledere, medførte international konkurrencekraft, fleksibilitet og omstillingsevne i trit med samfundsudviklingen. Endvidere lykkedes det fra starten at tiltrække de rigtige talenter, dels mere erfarne folk fra Niels Bohrs eget institut og dels en række nyuddannede, der havde fulgt særligt designede uddannelsesforløb, som fx fysikingeniørerne fra DTU.

Investeringen i Risø har givet værdifulde afkast både videnskabeligt og teknologisk – især inden for energi – som til fulde lever op til Bohrs og de andre “fædre”s visioner om forskning til samfundet tarv. Den globale udvikling af vindenergi har således tydelige rødder på Risø, og næres fortsat af forskningen på DTU Vindenergi. Risøs aktiviteter med udvikling og brug af stort forskningsudstyr har også sat sig tydelige spor ved ESRF og ESS.

Litteratur

- [1] Henry Nielsen (red.), Til samfundets tarv – Forskningscenter Risøs historie, Forskningscenter Risø 1998
- [2] Stefan Rozental (red.), Niels Bohr: Hans liv og virke fortalt af en kreds af venner og medarbejdere. J.H. Schultz 1964
- [3] Peter Yding Brunbech, Hans Henrik Koch 1905-1987, <http://www.Danmarkshistorien.dk>
- [4] European Synchrotron Radiation Facility, <http://www.ESRF.eu>
- [5] European Spallation Source, <http://europeanspallationsource.se>
- [6] Kim Lefmann m.fl. (2011), ESS: En forskningsfacilitet i verdensklasse under opbygning i Lund, KVANT nr. 1, april 2011.



Jørgen K. Kjems, civ. ing., lic. tech., var administrerende direktør på Risø fra 1997 til 2007. Han havde fra 1968 sin forskerkarriere på Risø med faststoffysik og brug af neutronspreddning ved DR3 som speciale. Han var formand for arbejdsgruppen, der forberedte European Spallation Source (1994-2000), medlem af ESRF's styrende råd (1988-1994) og dansk repræsentant i ESFRI (2002-2011).

Fysikolympiaden IPhO 2013 blev en kæmpesucces

Af Henrik Bruus, Danmarks Tekniske Universitet og Niels Hartling, Birkerød Gymnasium

I starten af juli var Danmark vært for den 44. internationale fysikolympiade, IPhO 2013, som tidligere er omtalt i KVANT [1]. 374 gymnasieelever fra 81 lande verden over prøvede kræfter med teoretiske og praktiske fysikopgaver – ved KU, DTU og i Tivoli. Hele begivenheden var fra først til sidst: Et brag af en succes!

Søndag den 7. juli ankom delegationerne fra de fleste lande, typisk bestående af 5 studenter og 2-3 ledere og observatører. Det er værtslandets pligt at tage sig af deltagerne fra hvert land, og det klarede de danske guider, hvervet blandt studerende ved KU og DTU. Studenterne blev fulgt til Danhostel i centrum af byen, mens ledere og observatører blev fulgt til hoteller i Lyngby.



Åbningsceremonien i DTU's festsal mandag den 8. juli forløb perfekt med underholdning og taler. Andreas Vetøs Nye Bigband og konferencierne Flemming Enevold og Sofie Lassen-Kahlke, styrede både åbningsceremonien og afslutningsceremonien seks dage senere med sikker hånd. Vigtigst under åbningsceremonien var præsentationen af studenterne fra hvert af de deltagende lande. Ceremonierne kan ses på www.ipho2013.dk. Efter åbningsceremonien blev ledere og studenter adskilt. Lederne blev på DTU, hvor de gik i gang med at forhandle de teoretiske opgaver.

De tre teoretiske opgaver handlede om 1) Meteoritter, specielt Maribo Meteoritten, som faldt i 2009, 2) En såkaldt plasmonisk dampgenerator, hvor damp frembringes omkring nanopartikler i vand ved belysning med en fokuseret lyskilde, 3) Modelberegninger omkring Grønlands indlandsis, inkl. en overraskende nyopdaget effekt af gravitation, nemlig at havniveauet *falder* omkring Danmark ved smeltning af al isen. De eksperimentelle opgaver, som blev forelagt to dage senere handlede om 1) Bestemmelse af brydningsindeks i vand vha. en laserafstandsmåler og 2) Undersøgelse af solceller. Vi havde søgt at fremstille opgaver, som havde noget med virkeligheden at gøre, og som nok havde svære dele, men også dele, som de fleste deltagere kunne klare. Opgaverne blev modtaget meget positivt, de blev alle accepteret, eneste lille indvending var, at de måske var blevet lige lange nok. Opgaverne viste sig da også at fungere udmærket i prøvesammenhæng, og enkelte studenter magtede faktisk at regne stort set alt.

De fleste af kasserne med udstyr til de eksperimentelle problemer blev solgt til lederne for et rimeligt

beløb. De tiloversblevne kasser vil blive tilbudt billigt til landets gymnasier og HTX-kurser.

Efter forelæggelsen af opgaverne, henholdsvis mandag og onsdag, fulgte den hårde del: Forhandling mellem lederne fra de 81 lande omkring detaljer. På den ene side skal alle have lov til at komme til orde, og på den anden side skal man hindre, at forhandlingerne trækker ud i det uendelige. Efter endelig vedtagelse af opgavernes ordlyd og pointfordeling på underspørgsmål begyndte oversættelsen til de mange sprog. For nogle nationer varede det hele natten, så natten efter de to dage, hvor opgaverne blev forhandlet, blev hård for både ledere og for arrangører.

Se den endelige udgave af problemerne, såvel de teoretiske som de eksperimentelle på [2], hvor man også kan finde modelløsninger. Et uddrag ses i figur 1.

Sea level rise from melting of the Greenland ice sheet A complete melting of the Greenlandic ice sheet will cause a sea level rise in the global ocean. As a crude estimate of this sea level rise, one may simply consider a uniform rise throughout a global ocean with constant area $A_0 = 3.61 \times 10^{14} \text{ m}^2$.		
3.8	Calculate the average global sea level rise, which would result from a complete melting of the Greenlandic ice sheet, given its present area of $A_G = 1.71 \times 10^{12} \text{ m}^2$ and $\rho_{\text{ice}} = 100 \text{ kg/m}^3$.	0.6
The massive Greenland ice sheet exerts a gravitational pull on the surrounding ocean. If the ice sheet melts, this local high tide is lost and the sea level will drop close to Greenland, an effect which partially counteracts the sea level rise calculated above.		
To estimate the magnitude of this gravitational pull on the water, the Greenlandic ice sheet is now modeled as a point mass located at the ground level and having the total mass of the Greenlandic ice sheet. Copenhagen lies at a distance of 3500 km along the Earth surface from the center of the point mass. One may consider the Earth, without the point mass, to be spherically symmetric and having a global ocean spread out over the entire surface of the Earth of area $A_E = 5.10 \times 10^{14} \text{ m}^2$. All effects of rotation of the Earth may be neglected.		
3.9	Within this model, determine the difference $h_{\text{COP}} - h_{\text{OPP}}$ between sea levels in Copenhagen (h_{COP}) and diametrically opposite to Greenland (h_{OPP}).	1.8

Figur 1. Uddrag af teoretisk problem nr. 3 fra [2].

For studenterne var den faglige del af olympiaden blot de to prøver på hver fem timer tirsdag og torsdag formiddag. I resten af tiden var der rig lejlighed til samvær og fælles oplevelser: Svømning i havnen, ekskursioner, bl.a. besøg til Niels Bohr Institutet, Tivoli, Experimentarium, Vikingeskibene og Havnerundfart. Ekskursionerne og festen midt på ugen, hvor lederne også var med, blev vellykkede, bl.a. fordi der havde været brugt megen tid på forberedelser, og fordi vores guider styrede alt på fineste vis.

Ledernes arbejde er noget mere omfattende, idet de, ud over at tilrettelægge og oversætte problemerne, også er med til at censurere dem. Dertil kommer møder, hvor der tages beslutninger om det fremtidige arbejde. Men også for dem var der tid til ekskursioner, bl.a. Niels Bohr Institutet, Havnerundfart, Carlsberg, Louisiana og Kronborg. Både ledere og studenter besøgte

Københavns Rådhus – ved hvilken lejlighed København blev udnævnt til “World Capital of Physics” for 2013. Mens lederne og studenterne morede sig, arbejdede it-ansvarlige og censorer hårdt på at scanne, fordele og rette de mange opgaver.



Figur 2. Billeder fra Tivolituren, hentet fra nyhedsbrevet *Hafnium*, der hver dag bragte billeder fra gårsdagens begivenheder, et kort over deltagerne fra ti af de 81 lande, et miniporætræt af “dagens danske fysiker”, små quizzer og tegneserier. Nyhedsbrevet blev fremstillet af redaktør Turi Schäffer, der er studerende ved Niels Bohr Institutet, og designer Miriam Ortved, som også har taget billederne. [3].



Figur 3. De danske deltagere i fysikolympiaden 2013. (*Hafnium* [3]).

Hvordan gik det så med medaljefordelingen? Man kunne næsten sige: Som sædvanlig. Studenter fra det fjerne Østen med Kina og Sydkorea i spidsen (hver 5 guldmedaljer), fra Østeuropa og fra de meget store lande løb næsten med det hele. Danmarks studenter klarede sig pænt med en bronzemedalje og to gange “hædrende omtale” (honourable mention, en slags fjerdeplads). Ved IPHO 2013 blev der uddelt 41 guldmedaljer, 64 sølvmedaljer, 101 bronzemedaljer, og 64 hædrende omtaler.

Et arrangement af denne type er et meget stort puslespil – nærmest tre store konferencer, som skal organiseres parallelt. Men vi kan sige, at bortset fra et

par småproblemer, lykkedes alt. Det var ikke mindst et resultat af mange engagerede menneskers indsats. Dertil var vi forskånet for alvorlige hændelser som sygdom, overfald og ulykker. Endelig havde vi i den grad vejret med os. Under hele olympiaden fra 7. til 15. juli faldt der ikke en dråbe regn, solen skinnede næsten konstant, uden at det var ubehageligt varmt. Så endnu engang: IPHO 2013 blev en kanonsucces, og vi fik da også særdeles positive tilbagemeldinger. Hvis man vil følge ugen i detaljer, kan man i øvrigt læse den daglige avis, som vi fik lavet, se [3], hvor man også kan finde billeder fra hele ugen.

Nu glæder vi os til næste år, hvor vi ikke har ansvaret. Fysikolympiaden i 2014 foregår i Kazakhstan.

Litteratur

- [1] Henrik Bruus og Niels Hartling (2013), Den Internationale Fysikolympiade i Danmark juli 2013, *KVANT* nr. 1, marts 2013
- [2] Teoretiske og eksperimentelle problemer og løsninger, <http://www.ipho2013.dk/ipho2013-problems.htm>
- [3] Nyhedsbrevet *Hafnium* 1-8, www.ipho2013.dk/ipho2013-newsletter.htm



Henrik Bruus er professor i teoretisk fysik ved Danmarks Tekniske Universitet og var næstformand ved IPHO 2013. Her ses han med samtlige IPHO-opgavebesvarelser foran DTU's Oticonsal ved afslutningen af IPHO 2013. E-mail: bruus@fysik.dtu.dk.



Niels Hartling er lektor på Birkerød Gymnasium og var formand for IPHO 2013. E-mail: Niels.Hartling@skolekom.dk.

Niels Bohrs vei til en kvanteteori for atomets struktur

Af Reidun Renstrøm, Fakultet for teknologi og realfag, Universitetet i Agder, Norge

2013 markerer 100 års jubileum for Niels Bohrs kvanteteori for atomet. I denne artikkelen følger vi Bohr fra han reiser til Cambridge for å studere metallenes elektronteori under ledelse av Thomson til han i mars 1913 sender første kapittel av trilogien "On the Constitution of Atoms and Molecules" til Rutherford for gjennomlesning.

Innledning

Omtrent alle fysikklærebøker på universitetsnivå introduserer atomfysikk i en historisk sammenheng. Hovedpunktene i denne versjonen er at Rutherford i 1911 foreslo, på bakgrunn av eksperimentelle resultater, en planetmodell for atomet; elektroner i sirkelbevegelse rundt en positivt ladd kjerne. Rutherfords modell skapte en krise i fysikken fordi klassisk fysikk forutsier at elektroner i sirkelbevegelse vil emitte stråling kontinuerlig, mens de følger en spiralbane inn mot kjernen! Denne motsetningen mellom teori og eksperimentelle fakta motiverte Bohr til å reise til Rutherford i Manchester for å utarbeide sine ideer sammen med han. Bohr løste problemet fordi han mente at nøkkelen til å forstå atomets indre struktur var å tolke atomenes linjespektre i lys av Einsteins nye fototeori. Hver linje, sa Bohr, representerer en bestemt energi og dermed en bestemt energiforskjell i atomet, altså må atomets energi være kvantisert. Denne historien er feil, likevel er den blitt en standard versjon om Bohrs atommodell [1].

100-års jubileet for Bohrs atommodell er en fin anledning til å gjøre en virkelig historie om Bohrs vei til kvantemodellen for atomet kjent for fysikere, studenter og lærere. Hovedkildene til denne fremstillingen er brev skrevet av Bohr til sin bror Harald og Ernest Rutherford og et notat som han skrev til Rutherford i juni-juli 1912. Disse finnes i Niels Bohr, Collected Works [2].



Figur 1. Niels Bohr (1885-1962) [3].

Til Cambridge for å diskutere metallenes elektronteori

13. mai 1911 forsvarte Bohr med stor suksess sin doktoravhandling, "Studier over metallernes Elektrontheori", som var en grundig gjennomgang og kritisk analyse av andre fysikers elektronteorier for egenskaper til metaller. Bohr fant feil i noen av teoriene, blant annet påpekte han at det teoretiske grunnlaget for John J. Thomsons beregninger av metallenes absorpsjonsevne ikke er riktig. Det var naturlig for Bohr å fortsette

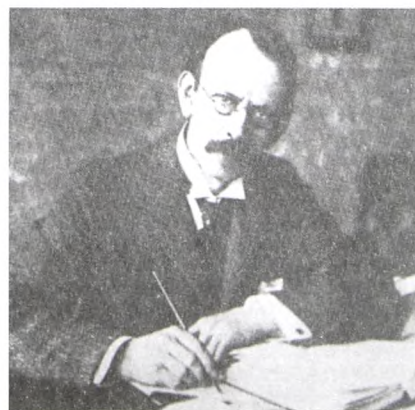
studiet av elektronteorier for metaller, og da han fikk stipend fra Carlsbergfondet for et utenlandsopphold, valgte han å reise til Cambridge for å studere under ledelse av Thomson.

Niels Bohrs Disputats.



1. Dr. Bohr. 2. Prof. Christiansen. 3. Prof. Heegaard.

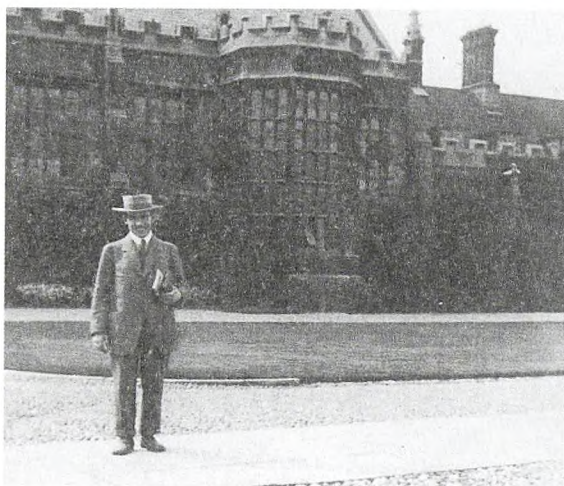
Figur 2. Bohr forsvare sin avhandling ved København universitet i mai 1911 [3].



Figur 3. John J. Thomson lederen av Cavendish Laboratory i Cambridge.

Seint i september 1911 satt han på fergen over Storebælt på vei til England og skrev til sin forlovede: "Jeg rejser ud med alt mit dumme vilde mod". Den 26 år gamle post-doc- studenten håpet inderlig at Thomson ville lese avhandlingen (som hadde fått en røff

engelsk oversettelse) og innse hvor viktig det var å få den publisert. Det første møtet med Thomson svarte til forventningene, og Bohr skrev til broren Harald: "Aa Harald! Det gaar mig saa storartet. Jeg har lige talt med J J Thomson og forklaret ham saa godt jeg kunde min Mening om Strålingen, Magnetismen osv. Du skulle vide hvad det var for mig at tale med en saadan Mand...Han vil nu læse bogen (afhandlingen), og han indbød mig til at spise sammen med sig i Trinity College paa Søndag; saa vil han tale med mig herom." Bohr avslutter brevet med å skrive: "Men først og sidst er jeg saa glad og taknemmelig, at jeg ikke kan sige det, fordi min Afhandling er færdig og at jeg kunde give Thomson den."



Figur 4. En optimistisk og nyankommet Bohr foran universitetet i Cambridge [3].

Men direktøren for Cavendish Laboratories var ikke interessert i å lese avhandlingen eller diskutere gamle feil i en teori han ikke lenger var opptatt av, med en entusiastisk dansk student han nesten ikke forstod hva sa. Bohrs entusiasme blir etter hvert erstattet av en voksende skuffelse. I oktober skriver han til Harald: "Jeg har det så udmærket,... men han [Thomson] er meget vanskelig at komme til at snakke med. Han har endnu ikke haft Tid til at læse min Afhandling, og jeg ved endnu ikke om han vil gaa ind på min Kritik...naar man har talt et Øjeblik med ham, kommer han til at tænke paa et eller andet af hans egne Ting, og saa gaar han fra en midt i en Sætning." Bohr forteller at han kun en gang i et par minutter for en ukes tid siden fikk anledning til å påpeke sin kritikk av Thomsons beregninger for metallenes absorpsjonsevne, men at Thomson ikke har nevnt det siden. Bohrs dårlige engelsk skapte vanskeligheter for ham også i laboratoriet. "En stakkels udlænding, der ikke engang kender ordene for de ting, han ikke kan finde, er virkelig dårligt stillet" [4]. På tross av problemene med å få Thomson interessert i å diskutere metallenes elektronteori, skriver Bohr at han har det storartet og at han har meldt seg inn i en fotballklubb.

Thomson sørget for at avhandlingen ble sendt til tidsskriftet "Transactions of the Cambridge Philosophical Society" for mulig publisasjon. Nå var det bare for Bohr å vente på komiteens avgjørelse.

Til Manchester for å lære om radioaktivitet

I november 1911 var Bohr i et selskap i Manchester hos en venn av sin avdøde far. En annen gjest var Ernest Rutherford, som ledet verdens førende senter for eksperimentell forskning i radioaktivitet i Manchester. I samtalen med Rutherford uttrykte Bohr at han var interessert å lære noe om radioaktivitet, og Rutherford svarte med å ønske han velkommen til Manchester.



Figur 5. Ernest Rutherford lederen for den eksperimentelle forskning i radioaktivitet ved universitetet i Manchester.

I midten av mars 1912 reiste Bohr til Manchester hvor han straks gikk i gang med å ta laboratoriekurs i radioaktivitet. I et intervju i 1962 sa Bohr: "Da jeg kom til Manchester, tænkte jeg på, hvor dejligt det ville blive at komme ind i radioaktivitetens teknik...Og jeg gik i et par uger til det kursus, de havde." Det var altså ikke fordi han var opptatt av Rutherfords kjernemodell for atomet at Bohr i mars 1912 reiste til Manchester.

Etter noen uker i Manchester mistet Bohr imidlertid interessen for laboratoriearbeidet Rutherford hadde satt han til, og han brukte mer tid til teoretisk arbeid. Det var fortsatt metallenes elektronteori som var i fokus for hans tanker, og han oppdaget stadig feil i nye artikler og det var derfor av stor betydning for Bohr at hans avhandling ble publisert. I mai 1912 kom brevet Bohr spent hadde ventet på i et halvt år, avgjørelsen fra bedømmelseskomiteen. Svaret var nedslående; i følge komiteen måtte avhandlingen kortes ned til det halve om den skulle være interessant for publisasjon! Bohr ble fortvilet og usikker på hva han burde gjøre. Skulle han sørge for en bedre engelsk oversettelse og imøtekomme komiteens krav om å korte den ned til det halve? Bohrs tid i England var snart over, uten at han hadde oppnådd det viktigste med oppholdet, nemlig å få avhandlingen offentliggjort. Arbeidene Thomson og Rutherford hadde satt han til, kom det heller ikke til å bli noen publikasjoner av. I et brev datert 27. mai skriver Bohr til Harald: "Jeg må desværre straks sige, at jeg endnu ikke er sikker paa hvor meget der vil komme ud af det, Rutherford har satt mig til. Jeg mener med Hensyn til Offentliggørelse." I dette brevet skriver Bohr om sin kritikk av eksisterende metallteorier med større entusiasme enn noen gang. Det er ingenting som tyder på at han etter to måneder i Manchester hadde blitt interessert i Rutherfords kjernemodell for atomet. Men så

skjedde det noe som fikk Bohr til å legge avhandlingen på hylla. Denne hendelsen fikk avgjørende betydning for Bohrs vitenskapelige liv og fysikkens utvikling. I begynnelsen av juni skriver Bohr begeistret til Harald om et arbeid hans venn og kollega Charles Darwin hadde utført og skrevet en artikkel om. Darwin hadde beregnet fartstapet til heliumkjerner (α -partikler) når de passerer gjennom tynne gullfolier.

Grunnlaget, eller modellen, Darwin hadde gjort sine beregninger ut fra var Rutherfords kjernemodell. Eksperimenter med α -spredning utført av fysikerne Hans Geiger og Ernest Marsden fra 1909 under ledelse av Rutherford viste at noen α -partikler som passerte gjennom tynne gullfolier fikk banen sin avbøyd med 90° og mer. I artikkelen, "The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom" forklarer Rutherford de store spredningsvinklene ved å anta at atomer har en ladd kjerne. Han skriver: "Consider an atom which contains a charge $\pm Ne$ at its centre surrounded by a sphere of electrification containing a charge $\pm Ne$ supposed uniformly distributed throughout a sphere of radius R ...It will be shown that the main deductions from the theory are independent of whether the central charge is supposed to be positive or negative. For convenience, the sign will be assumed to be positive" [5]. Hovedpoenget i Rutherfords artikkel er at hvis atomets positive ladning er konsentrert i sentrum, slik den japanske fysikeren H. Nagaoka hadde foreslått allerede i 1904, kan α -partiklens avbøyning forklares. Kollisjoner med elektronene i atomet kunne ikke være årsaken til de store avbøyningsvinklene. I Rutherfords "modell" er elektronene *jevnt fordelt* omkring den positive ladde kjerna, og han sier ingenting om deres bevegelse. I alle tidligere atommodeller med elektroner, Jean Perrins planetmodell fra 1901, Thomsons modell fra 1904 og H. Nagaokas planetmodell fra 1904 beveger elektronene seg i sirkelbaner, men Rutherford sier altså *ingenting* om elektronenes bevegelse og derfor ble hans kjernemodell heller ikke betraktet som en fullstendig atommodell. Rutherfords modell fikk svært *liten* oppmerksomhet, og på Solvay-konferansen høsten 1911 der atomets struktur ble diskutert, nevnte ikke Rutherford sin egen modell. Bohr har fortalt at Rutherfords modell ikke ble nevnt noen steder. Forklaringen på dette kan være at Rutherfords artikkel først og fremst handlet om en modell som kunne begrunne resultatene fra α -sprednings eksperimentene.

Darwins artikkel om α -partiklens fartstap

Darwin hadde utledet en teori for α -partiklers fartstap når de passerer gjennom tynne metallfolier. Det er atomkjernen som forårsaker spredning av α -partiklene, men det er kollisjoner med atomets elektroner som forårsaker α -partiklens fartstap. I Rutherfords modell er elektronene homogent fordelt rundt kjernen, og ut fra Darwins beregninger skulle det være mulig å avgjøre om elektronene var jevnt fordelt over atomets overflate eller volum.

En viktig antakelse i Darwins beregninger var at α -

partiklene kolliderer med *frie* elektroner. Resultatene av hans beregninger viste at atomenes radius avtok med økende atomvekt og han fikk en altfor stor radius for de letteste atomene. Da Bohr leste artikkelen, forsto han med det samme hvorfor Darwins teoretiske beregninger viste disse svakhetene. Elektronene er *ikke* frie, men bundet til atomkjerna og elektronenes bevegelse har betydning for α -partiklens fartstap! Han skriver om dette til Harald 12. juni: "Det gaar mig ikke saa helt daarligt i Øieblikket, jeg havde for et Par Dage siden en lille Ide med Hensyn til Forstaaelsen af Absorption af α -Straaler. Det gik til paa den Maade, at en Matematiker her, C.G. Darwin, (Sønnesønn af den rigtige Darwin) lige har offentliggjort en Theori om dette Spørsmaal, og jeg syntes, at den ikke alene ikke var rigtig i det matematiske (det var kun temmelig lidt) men noget utilfredsstillende i Grundopfattelsen, og har udarbejdet en lille Theori derom, der selv om den er lille, maaske dog kan kaste lidt Lys over nogle Ting med Hensyn til Atomers Bygning. [...] Du kan tro at det er morsomt at være her, her er så mange at tale med."

En travel ung mann

Bohr var overbevist om at elektronenes fart og binding til kjernen har betydning for energitapet α -partiklene får i sammenstøtene. I sin egen beregning tar han hensyn til dette ved å betrakte atomet som en harmonisk oscillator, der elektronene er elastisk bundet til kjernen. Krefter utenfra vil sette systemet i vibrerende bevegelser. Langt viktigere enn å utarbeide en forbedret teori for α -partiklers fartstap gjennom atomer er at Bohr blir opptatt av å utforske "Atomets Bygning" og legger doktoravhandlingen til side. I det neste brevet til Harald, datert 19. juni, skriver Bohr om atomets indre struktur med en entusiasme som tidligere var forbeholdt metallens elektronteori. "Det kunde være at jeg maaske har fundet ud af en lille Smule om Atomernes Bygning. Du må ikke tale om det til nogen, for ellers kunde jeg jo ikke skrive saa tidligt til Dig om det... Det er altsammen vokset ud af en lille Oplysning jeg fik fra α -Straalernes Absorption...Du kan tro, at jeg er ivrig efter hurtigt at gøre det helt færdigt, og derfor har jeg taget fri fra Laboratoriet for et Par Dage (det er ogsaa en Hemmelighed)." Bohr har altså fått det veldig travelt, han skulker laboratoriearbeidet og det neste brevet til Harald blir først sendt 17. juli: "Det går mig temmelig godt, for jeg tror jo, jeg har fundet ud af nogle forskellige Ting; men det er rigtignok ikke gaaet saa hurtig med at udarbejde dem, som jeg straks var saa dum at tro. Jeg haaber at faa en lille Afhandling færdig og at vise Rutherford den førend jeg rejser, og jeg har derfor så travlt, saa travlt."

Rutherfordnotatet

Bohrs første ideer om atomstrukturen kjenner vi fra denne avhandlingen, kalt Rutherfordnotatet, kalt "On the Constitution of Atoms and Molecules". Bohr leverte notatet til Rutherford i juli 1912 for at han skulle lese gjennom det.

Bohr innleder notatet med å slå fast at for å kunne forklare de store spredningsvinklene til α -partiklene, må atomet ha en kjerne, men at det i et slikt atom umulig kan forekomme likevektskonfigurasjoner hvis elektronene ikke er i bevegelse. Det første Bohr gjorde var derfor å diskutere rotasjonen av n elektroner i en ring rundt kjerna. Sentripetalkraften på et elektron er i følge klassisk fysikk

$$X \frac{e^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m \omega^2 r \quad (1)$$

der $X = 1$ når det kun er ett elektron i ringen og større enn 1 for flere elektroner, m er massen til elektronet og e er ladningen, r er ringens radius og ω elektronets omløpsfrekvens. Bohr konkluderer at denne ringen ikke er stabil ut fra klassisk fysikk, "it can very simple be shown, that a ring as the one in question possesses no stability in the ordinary mechanical sense...the question of stability may therefore be treated from a quite different point of view." Elektronene i ringen er ikke stabile mot små forstyrrelser. Modellen Bohr har valgt, er altså mekanisk ustabil. I tillegg til å være mekanisk ustabil hadde Bohrs modell enda et paradoks å by på: Det er umulig å beregne atomets størrelse utfra denne modellen. I stedet for å gi opp modellen, innførte Bohr en hypotese som ikke kunne forklares innenfor klassisk fysikk: "for any stable ring (any ring occurring in the natural atom) there will be a definite ratio between the kinetic energy of an electron in the ring and the frequency of rotation. This hypothesis for which there will be given no attempt of a mechanical foundation (as it seems hopeless) is chosen as the only one which seems to offer a possibility to an explanation of the whole group of experimental results."

Hypotesen er altså at den kinetiske energien til et elektron i en ring er gitt ved $E = K\omega$, der K er en konstant og ω er elektronets omløpsfrekvens. Ut fra denne hypotesen (som minner om Plancks uttrykk for energien til grunntilstanden til en oscillerende ladning) og klassisk mekanikk var det mulig å utlede et uttrykk for sirkelbanens radius, elektronets totale energi W og omløpsfrekvensen. Den totale energien til et elektron er gitt ved:

$$W = X^2 \frac{me^2\pi^2}{2K^2} \quad (2)$$

Konstanten K gir Bohr ingen bestemt verdi i dette notatet. Ut fra disse likningene kunne Bohr forklare mange eksperimentelt bestemte egenskaper til atomer. Det viktigste i dette notatet er at atomets mekaniske stabilitet ikke kunne forklares innenfor klassisk fysikk. Bohr introduserte en betingelse for stabilitet utenfor den klassiske fysikken, en sammenheng mellom elektronets kinetiske energi og omløpsfrekvensen. Bohr nevner imidlertid ikke problemet med strålingsustabilitet på grunn av elektroner i sirkelbevegelser i dette notatet. Atomenes linjespekter er han ikke interessert i å forklare. Det er egenskaper til atomene i normaltilstanden (grunntilstanden) som opptar han.

Bohr i København

24. juli 1912 reiste Bohr fra Manchester tilbake til København. Han giftet seg 1. august med Margrethe og bryllupsreisen gikk først til Cambridge hvor Bohr gjorde ferdig artikkelen om absorpsjon av α -partikler (som ble publisert i januar 1913), og deretter videre til Manchester. I september reiste paret tilbake til København (figur 6), og Bohr ble vitenskapelig assistent i fysikk ved Universitetet i København. Arbeidet på laboratoriet tok mye av Bohrs tid, og problemene med atomstrukturen fikk han lite tid til å gruble over.



Figur 6. Bohr på vei hjem til København 1912 [3].

Han skriver til Rutherford 4. november: "I am sorry not yet having been able to finish my paper on the atoms and send it to you, but till now I have had so much to do with some lecturing and laboratory work that I have had only little time left...I hope to be able to finish the paper in a few weeks." I det neste brevet til Rutherford, datert 31. januar 1913, understreker Bohr at han ikke er opptatt av å forklare atomenes linjespekter. "I do not at all deal with the question of calculation of the frequencies corresponding to the lines in the visible spectrum, I have only tried, on the basis of the simple hypothesis, which I used from the beginning, to discuss the constitution of the atoms and the molecules in their 'permanent' state; it means, I have tried to deduce simple general properties of the system in question, without – according to your advise – going into details calculations of any special system apart from the most simple."

I et brev skrevet 7. februar til George Hevesy, som Bohr ble kjent med i Manchester, forteller Bohr om innholdet i det arbeidet det haster med å få publisert. Fra innholdet i dette brevet er det mye som tyder på at Bohr nå har antatt at konstanten K er lik $\frac{1}{2}h$ (Plancks konstant) og dermed er energiuttrykket for et elektron i en ring med ett elektron, altså hydrogenatomet er gitt ved:

$$W = X^2 \frac{2me^2\pi^2}{h^2} \quad (3)$$

Bohr hadde på dette tidspunktet en klassisk forestilling om mekanismen bak emisjon fra atomet. Han tenkte seg at spektrallinjene fremkom ved at et fritt elektron falt på plass i en bane, roterte om kjernen med en bestemt frekvens og vibrerte med karakteristiske frekvenser vinkelrett på banen. Spekterets linjer hadde samme frekvenser som vibrasjonsfrekvensene. Når strålingen var utsendt, falt elektronet til ro i en enkel sirkulær bevegelse om kjerne. Thomson og Nagaoka forklarte emisjon av stråling på samme måte i sine modeller. Bohr var ikke opptatt av å undersøke frekvensene i strålingen fra atomene, hans arbeid gikk ut på å forklare

egenskaper til atomene i deres permanente tilstand. Kvantefysikeren Leon Rosenfeld spurte Bohr i et intervju i 1962 hvordan han oppfattet spektrene før han ble klar over informasjonen de gav om atomstrukturen. Bohr svarte: "Man mente at spektrene var herlige, men at det var umulig å komme videre her. Ligesom når man har med en sommerfugls vinge at gjøre er den meget regelmæssig med farver og så videre, men ingen troede, at man kunne nå ind i biologiens kerne ved hjælp av farverne på en sommerfugls vinge." Helt siden midten av 1800-tallet hadde mange fysikere utforsket egenskaper ved lyset som blir emittert fra atomer. Det mest interessante resultatet var at det emitterte lyset består av et sett med frekvenser, som enkelte linjer i et spekter og som er karakteristisk for det enkelte atomet. Men Bohr var altså ikke opptatt av å prøve å forklare denne egenskapen til atomene, først og fremst fordi han ikke trodde linjene i spektrene hadde noe å fortelle om atomets oppbygning.

Balmers formel

6. mars sendte Bohr et utkast til Rutherford av første kapittel av artikkelen han så lenge hadde lovet. Tittelen var "On the Constitution of Atoms and Molecules". Rutherford må ha blitt svært overrasket da han leste artikkelen for den handlet nesten utelukkende om en forklaring på linjespektrene! Bohr hadde jo understreket flere ganger at han overhodet ikke var opptatt av å forklare frekvensene i strålingen fra atomene. Men Bohr hadde altså plutselig endret oppfatning. Hva hadde fått Bohr til å bli interessert i linjespektrene? I februar hadde Hans Marius Hansen kommet på besøk. Han var ekspert på atomspektrene og i samtalen spurte han Bohr om hans teori stemte overens med Balmers formel for frekvensene til linjene i hydrogenspektret. Bohr, som ikke hadde vært opptatt av spektrene og ikke gjort noen beregninger for frekvensene i spektrene, måtte innrømme at han ikke kjente til denne formelen, men han lovet å finne ut av det. I 1885 hadde Balmer kommet frem til en matematisk formel for de empirisk bestemte frekvensene. Bohr hadde helt sikkert lært formelen på skolen, men altså glemt den. Balmers formel kan skrives på formen:

$$f = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (4)$$

der f er en linjes frekvens, $R = 3,29025 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ og kalles Rydbergs konstant og n er et naturlig tall større enn 2. Her svarer R til den moderne Rydberg konstant ganget med lysets hastighet!

Bohr har fortalt at straks han så Balmers formel forsto han mekanismen bak utsendelsen av stråling fra atomer. Det er sannsynlig at Bohr så likheten mellom Balmers formel og hans uttrykk for energien til elektronet i hydrogenatomet, ligning (3). Differansen mellom to energiuttrykk vil få samme form som Balmers formel! Ved å innføre flere baner med økende kinetisk energi gitt ved $E_n = n(1/2)h\omega$, der $n = 1, 2, 3, 4, 5$

beregnet Bohr differansen mellom energien til to baner, n_2 og n_1 , til å bli:

$$W_{n_2} - W_{n_1} = \frac{2me^4\pi^2}{h^2} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad (5)$$

Energitapet til atomet må være like stort som energien til strålingen. Bohr var nå et lite, men revolusjonerende skritt fra en formel for frekvensen i strålingen fra hydrogenatomet: Å løsrive strålingens frekvens fra mekaniske frekvenser i atomet! Han lot frekvensen til strålingen være gitt ved energiforskjellen mellom to tilstander dividert med Plancks konstant:

$$f = \frac{W_{n_2} - W_{n_1}}{h} = \frac{2me^4\pi^2}{h^3} \left(\frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad (6)$$

Bohr må ha vært spent da han regnet ut konstantleddet, og svært lykkelig da det viste seg at det var $3,1 \cdot 10^{15} \text{ s}^{-1}$ omtrent lik Rydbergs konstant i Balmers formel.

Kapittelet Rutherford fikk tilsendt i begynnelsen av mars handlet nesten utelukkende om en kvanteteori for atomenes linjespekter. Bohr forklarte frekvensene i linjespektret ut fra en revolusjonerende idé som innebar at strålingens frekvens er løsrevet fra mekaniske frekvenser i atomet. I Plancks teori for oscillerende ladninger er energien kvantisert, men strålingen som emitteres har samme frekvens som ladningens oscillasjonsfrekvens. I Bohrs teori for atomet er frekvensen gitt ved forskjellen mellom to energitilstander. Det var vanskelig for Rutherford å akseptere. Bohr begrunner sin radikale antakelse i kapittelet på flere ulike måter, og Rutherford kommenterte i sitt svarbrev at Bohr burde forkorte artikkelen. Han minner Bohr på at lange artikler kan virke avskrekkende på mange, og at de ikke har tid til å lese dem. Rutherford skriver videre at han ser frem til å lese de neste kapitlene, men ber Bohr ta til seg hans råd om å fatte seg i korthet. Det hører med til historien at Bohr reiste til Rutherford og kjempet for hvert ord i artikkelen, som ble publisert i juli 1913.

Korrespondanseprinsippet

Bohr begrunnet at konstanten K i uttrykket for kinetisk energi må være $\frac{1}{2}h$ ut fra et prinsipp som senere ble kalt for korrespondanseprinsippet; at kvanteteorien må ha klassisk teori som et grensetilfelle. Han setter uttrykket for kinetisk energi: $W = f(n)h\omega_n$ der f er en ukjent funksjon og ω_n er omløpsfrekvensen i bane n . Men skal Bohr få noe som minner om Balmers formel, må han la $f(n) = Cn$, der C er en konstant. En overgang fra en tilstand hvor $n = N$ til en tilstand $n = (N - 1)$ gir stråling med frekvens:

$$\begin{aligned} f &= \frac{\pi^2 me^4}{2C^3 h^3} \left(\frac{1}{(N-1)^2} - \frac{1}{N^2} \right) \\ &= \frac{\pi^2 me^4}{2C^3 h^3} \left(\frac{2N-1}{N^2(N-1)^2} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

De tilsvarende omløpsfrekvensene for elektronet i banene med $n = N$ og $N - 1$ er:

$$\omega_N = \frac{me^4\pi^2}{2C^2N^3h^3} \quad (8)$$

og

$$\omega_{N-1} = \frac{me^4\pi^2}{2C^2(N-1)^3h^3} \quad (9)$$

Hvis N er stor, skriver Bohr, vil forholdet mellom elektronets omløpsfrekvens før og etter emisjonen være omtrent lik 1, og i følge klassisk fysikk skulle vil forvente at forholdet mellom frekvensen til emittert stråling og omløpsfrekvensen til elektronet også skulle bli svært nær 1.

$$\frac{f}{\omega_N} = \frac{CN^3(2N-1)}{N^2(N-1)^2} \quad (10)$$

går mot $2C$ for store N og er lik 1 dersom $C = \frac{1}{2}$. Dette prinsippet, altså at kvanteteorien skal ha klassisk fysikk som et grensetilfelle, fikk stor betydning for kvantefysikkens utvikling.

Mottakelse

For noen fysikere var det utenkelig at Bohrs forklaring på atomenes linjespekter kunne være riktig. Stråling fra atomer burde i følge Maxwells teori komme fra elektronenes vibrasjoner, men Bohrs idé innebærer at strålingen fra atomene har en helt annen forklaring. Blant fysikerne som ganske tidlig trodde på Bohrs forklaring var Albert Einstein. Han reaksjon var: "Så avhenger altså ikke frekvensen i lyset som sendes ut fra et atom med frekvensen til elektronet i atomet. Dette

er et enormt fremskritt". Den unge fysikeren Henry Moseley skrev om Bohrs nye atommodell: "Deres teori har en storartet innflytelse på fysikken, og jeg tror at når vi virkelig vet hva et atom er, hvilket vi utvilsomt gjør om et par år, vil Deres teori ha en stor del av æren, selv om den måtte være feil i sine detaljer."

Bohrs modell viste seg ganske snart å være feil i sine detaljer, men den revolusjonerende ideen om at frekvensen til strålingen fra et atom er gitt ved energidifferansen mellom to energitilstander i atomet gjelder ennå.

Litteratur

- [1] Renstrøm, R. (2011), Kvantefysikkens utvikling. Avhandling for graden PhD. Universitetet i Oslo
- [2] Niels Bohr, *Collected Works* (Vol 1 og 2). Amsterdam: North-Holland Publishing Company (1972) og (1974)
- [3] Niels Bohr Arkivet, København, <http://www.nba.nbi.dk>
- [4] Pais, A. (1996), Niels Bohr og hans tid i fysik, filosofi og samfundet: Spektrum. p. 138
- [5] Rutherford, E. J. (1911), The Scattering of α and β Particles by Matter and The Structure of the Atom. *Philosophical Magazine*, **21**, 669.

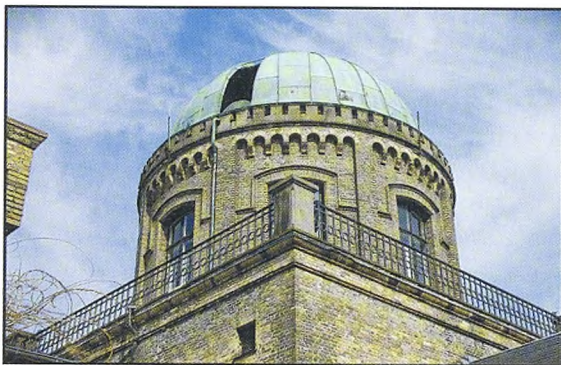


Reidun Renstrøm er førsteamanuensis ved universitetet i Agder, hvor hun underviser i klassisk mekanikk og kvantefysikkens historiske utvikling. Hennes doktorgradsarbeid handler om hvordan kvantefysikkens utvikling blir feil fremstilt i lærebøkene.

Observatoriet på Østervold i København

Af Michael Quaade

Ved Kulturnatten i København fredag den 11. oktober 2013 kan man se stjerner i universitetets store linsekikkert fra 1895. Her fortelles lidt om stedets historie.



Figur 1. Observatoriets kuppel set udefra. Den indvendige diameter er lidt over 7 meter. Foto: Ola Jakup Joensen.

Københavns Universitet byggede observatoriet i 1861 som erstatning for det hidtidige observatorium på Rundetaarn. På det tidspunkt var det plaget af trafikken i Købmagergade og området på Rosenborg Bastion var uden for byen i landlige omgivelser.

Den oprindelige kikkert findes i dag på Steno Museet i Aarhus. Den nuværende kikkert blev opstillet i 1895. Det er en dobbeltkikkert, der består af en 39 cm (diameter) kikkert til visuelle observationer bygget sammen med en 25 cm fotografisk kikkert. Kikkerterne er monteret på en solid ækvatorealmontering, der står på en søjle, der indeholder en tredjedel af alle de mursten, der er brugt til hele bygningen. I dag drejes kikkerten

om timeaksen med en elektrisk motor, men oprindelig var det et mekanisk urværk, hvor loddet kunne passere ned gennem den hule søjle.

Begge kikkerter er linsekikkerter med en brændvidde på knap 5 m. Den visuelle kikkert var forsynet med en mekanisme til måling af den relative position for dobbeltstjerner. Mekanismen fungerer ikke længere, men den bestod af et dobbelt trådkors, der kunne drejes og indstilles så de to tråde krydsede hinanden i hver af dobbeltstjernekomponenterne. Herefter kunne både vinklen og afstanden aflæses med mikroskoper på skalaer omkring okulalet. Den fotografiske kikkert er forsynet med pladekassetter til 15 cm glasplader.

I årene fra 1861 til 1996 holdt Københavns Universitets astronomer til i bygningen på Øster Voldgade. Da Brorfelde Observatoriet blev bygget i 1950'erne blev det hjemsted for de astronomiske observationer på dansk grund og en del af medarbejderne fik det som daglig arbejdsplads. Senere flyttedes observationsaktiviteterne til de store observatorier i Sydamerika og på de Kanariske Øer. I 1996 flyttede astronomerne fra både Østervold og Brorfelde til Rockefeller Komplekset på Juliane Maries Vej.

I dag er det Institut for Naturfagenes Didaktik og Danish Science Factory, der holder til i bygningen på Østervold. Sidstnævnte er det nye navn for Dansk Naturvidenskabsformidling, der bl.a. står bag den årlige Naturvidenskabsfestival.

Det sidste år er der så småt ved at komme liv i kuppelrummet omkring den gamle kikkert igen. Første gang var ved Kulturnatten i København i oktober 2012,

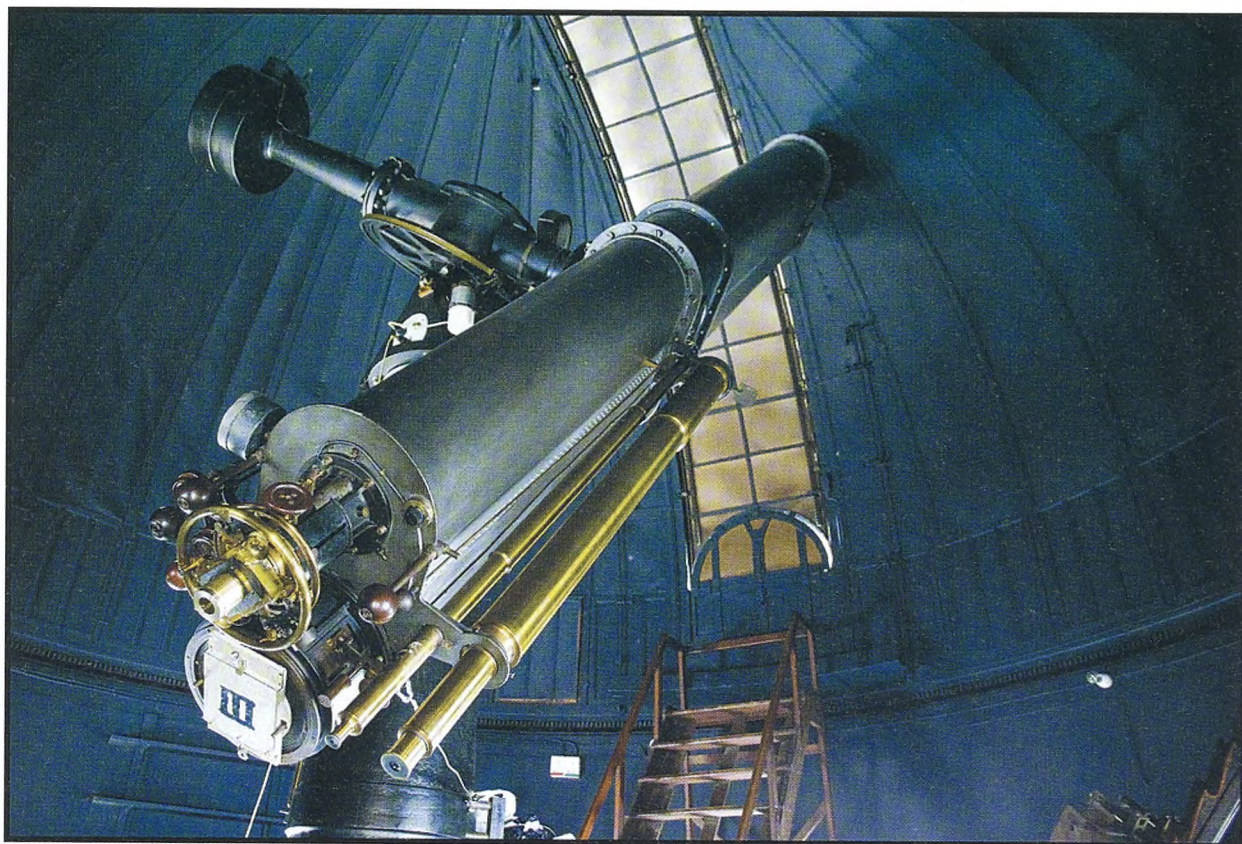
hvor observatoriet var med i en stort anlagt "event" på Geologisk Museum og i Botanisk Have. Det var en stor succes med omkring 1000 besøgende. Før det havde kikkerten ikke været i brug siden en enkelt Kulturnat omkring 10 år tidligere.

Kikkerten var også i brug ved Forskningens Døgn i starten af maj 2013. I den sammenhæng har Niels Bohr Institutets værksted fremstillet en okularholder, der passer til moderne okularer. Linserne i den visuelle kikkert er også blevet rensat. Med lidt god vilje kan man sige, at der stadig i 2013 foregår teknisk udviklings- og vedligeholdelsesarbejde på den 118 år gamle kikkert.



Figur 3. Niels Michaelsen renser linsen. Foto: Ola Jakup Joensen.

I efteråret 2013 vil publikum igen kunne se i kikkerten ved Kulturnatten fredag den 11. oktober, hvor folk fra Niels Bohr Institutet vil vise himmelobjekter frem.



Figur 2. Den dobbelte linsekikkert fra 1895 i observatoriet på Østervold. Bag på den nederste fotografiske kikkert sidder kassetten til de 15 cm glasplader, som billederne blev optaget på. Foto: Ola Jakup Joensen.

Slørtågen i Svanen

Af Michael Quaade

Om efteråret står stjernebilledet *Svanen* højt på himlen mod sydvest. Den er hjemsted for mange spændende objekter. Ét af dem er *Slørtågen*, som er resterne af en stjerne, der eksploderede for hen imod 10.000 år siden.

I udkanten af det område af himlen vi kender som stjernebilledet *Svanen*, eksploderede en supernova for 5-10.000 år siden. En supernova er en stor stjerne, der ender sine dage med en voldsom eksplosion, hvor størstedelen af det materiale, den består af, kastes ud i det omgivende rum. Dengang kunne den ses om dagen ligesom den supernova Tycho Brahe opdagede i 1572 i *Cassiopeia*. Den har endda været tydeligere end Tychos berømte *Stella Nova*, fordi den var meget tættere på Jorden. Resterne af stjernen kan man i vore dage se som *Slørtågen*.

Slørtågen består af ganske tynde gasser – meget tyndere end Jordens atmosfære. Lyset fra en gaståge dannes ved overgange i de enkelte gasatomer. De overgange giver anledning til lys med ganske bestemte bølgelængder, som vores øjne opfatter som farver. Ser man på tågens spektrum, fremtræder overgangene som *emissionslinier* – i modsætning til de *absorptionslinier*, man ser i de fleste stjernespektre. Det røde lys, der dominerer billedet, stammer fra H_{α} -spektrallinien i brintatomer.

Vil man se lyssvage tåger gennem en kikkert, er det en fordel at bruge et filter, der kun lader de bølgelængder slippe igennem, der svarer til overgange i tågens gasatomer. På den måde undertrykkes lyset fra andre kilder – måneskin, lysforurening og nattehimlen i almindelighed. Ved visuelle observationer med øjet er det yderligere en fordel at se efter spektrallinier i det gul-grønne område med bølgelængder omkring 500 nm. Det skyldes, at vores øjne er mest følsomme for lys med de bølgelængder. Følsomheden for rødt og blått lys er omkring fem gange mindre.

Heldigvis udsender *Slørtågen*, ligesom mange andre tåger, en stor del af sit lys i to spektrallinier fra dobbelt ioniserede iltatomer ved henholdsvis 495,9 nm og 500,7 nm. Disse spektrallinier er fra såkaldte “forbudte” overgange, som har meget ringe kvantefysisk sandsynlighed for at finde sted. De optræder kun, når gassen er så tynd, at de enkelte atomer næsten ikke påvirker hinanden ved fx sammenstød. Ellers vil atomerne afgive energi på andre måder. Det sker ikke, når hvert enkelt atom ikke mærker noget til de andre. Så er der tid til, at de kan henfalde i de ellers meget usandsynlige overgange, der på den måde kan blive tågens kraftigste spektrallinier.

I laboratorier på Jorden er det ikke så ligetil at skabe forhold, der minder om den ganske tynde gas i interstellare gaståger. Derfor blev disse spektallinier observeret i tåger, længe inden man havde identificeret

dem i kendte stoffer på Jorden. En overgang regnede forskerne med, at det var et hidtil ukendt grundstof, som blev kaldt *nebulium* efter *nebula*, det latinske ord for tåge.

Slørtågen er et stort kompleks af tågedannelser, der fylder omkring 3 grader på himlen – seks gange Månens diameter. *Slørtågen* fylder så meget, at dele af den har fået hvert sit nummer i NGC-kataloget. NGC 6960 er længst til højre i billedet lige ved den forholdsvis klare stjerne 52 Cygni. Øverst til venstre ses NGC 6992, der udgør den anden store iøjnefaldende komponent. Inde i NGC 6992, lige under den smalle del, ses NGC 6995 som en lys firkant. NGC 6974 og 6979 er de to små sammenhængende lyse dele øverst i midten. Den store isvaffel-lignende del, foroven til højre for midten, kaldes “Pickering's Triangular Wisp”. Den blev opdaget i 1904 efter NGC-kataloget var udgivet – derfor har den ikke noget NGC-nummer. Wilhelmina Fleming på Harvard College Observatory opdagede den på et fotografi. Den har navn efter Edward Pickering, der var direktør for observatoriet.



Figur 1. Supernovaresten “*Slørtågen*”. Billedet er sammensat af 85 enkeltoptagelser gennem forskellige filtre med en samlet eksponeringstid på 23 timer. Optagelserne er foretaget i årene 2003 til 2005 fra New Mexico og Danmark. Billedet prydede også forsiden af KVANT nr. 1, 2008. Foto: Mikael Svalgaard.

Sidste nyt fra LHC om Higgs-bosonen

Af Stefania Xella, Niels Bohr Institutet

Sidst jeg skrev en artikel om Higgs-partiklen [1] hævdede jeg, at 2012 ville blive året for Higgs. Sjældent har jeg ramt mere plet! Den 4. juli 2012, efter et ekstremt succesfuldt år med dataopsamling, kunne de to eksperimenter ved CERN, som hedder CMS og ATLAS, annoncere opdagelsen af en Higgs-lignende partikel. Dette er en af de største opdagelser i partikelfysikken i nyere tid, og dagen blev ekstra følelsesbetonet af, at professor Peter Higgs selv var tilstede i auditoriet og med sine egne øjne så præsentationen af de resultater, som han sikkert har drømt om det meste af sin karriere. Her gøres der status over, hvad vi foreløbig kan sige om den nye bosons egenskaber.



Figur 1. Dr. Fabiola Gianotti (talskvinde for ATLAS eksperimentet, CERN) og professor Peter Higgs (University of Edinburgh) lykønsker hinanden den 4. juli 2012.

Idag, et år efter opdagelsen af en “Higgs-lignende partikel”, er vi så småt ved at være sikre på, at den partikel vi fandt, vitterligt er den Higgs-boson, som gør partikelfysikkens Standard Model (SM) selvkonsistent.

Der er (vigtige) detaljer som vi endnu ikke kender, såsom præcist hvor stærkt Higgs-partiklen kobler til andre partikler i Standard Modellen. Disse koblinger er forudsagt præcist, men eksperimentelt kendes de kun til 10-20 %, så når vi begynder at få mere data efter 2015, så er det muligt, at vi kan se afvigelser fra Standard Modellen.

Med vores nuværende data kan vi ikke desto mindre se, at alle basale parametre, som spin, masse, produktionstværsnit, henfaldskanaler og vekselvirkninger med andre Standard Model-partikler, alt sammen viser et konsistent billede af en ny partikel, som har de egenskaber, man har forudsagt for en SM-Higgs-partikel.

Før vi går til en gennemgang af, hvad vi har lært om denne nye partikel, så lad mig kort minde om, hvorfor denne opdagelse er så vigtig for partikelfysikken.

Hvorfor er Higgs partiklen så vigtig?

Teorien for partikelfysikkens Standard Model er en meget succesfuld teori på subatomar skala. Den beskriver de fleste fænomener vi observerer i naturen, fra den almindelige subatomare verden omkring os (atomer, radioaktivt henfald, osv) i det nuværende “kolde” univers til laboratorieeksperimenter med partikelkollisioner ved høj sammenstødsenergi, svarende til temperaturer på $T \approx 10^{17}$ kelvin.

To vigtige dele af teorien er: a) hvordan partikler får deres masse, og b) hvordan de elektromagnetiske og de svage kræfter bliver forskellige. Teorien er nemlig “forenet” ved høje energier, i den forstand at de svage kræfter bliver ligeså stærke som de elektromagnetiske kræfter på et vist tidspunkt i Universets historie (altså ved høje energier). Helt konkret, så tror vi at der skete en faseovergang (lidt som når vanddamp kondenserer til dråber) i det tidlige univers, hvor de svage kræfter pludselig blev kortrækkende, og dermed adskilte sig fra de andre kræfter.

Tilsvarende processer kender vi fra superledere, så for fysikere, der arbejder med nanofysik virker sådanne faseovergange helt naturlige. I en almindelig elektrisk leder tillader de uordnede (inkohærente) elektroner, at et eksternt magnetfelt kan gennemtrænge lederen. I et superledende materiale vil de ordnede (kohærente) elektroner omvendt forhindre et magnetfelt i at gennemtrænge lederen. Dette er kendt som Meissner-effekten.

På samme måde forestiller vi os, at Universet, hvor Higgs-feltet er spredt ud overalt, kan have en faseovergang. Efter denne faseovergang forhindrer Higgs-feltet de svage kræfter i at opføre sig som de andre kræfter (de virker derefter kun over korte afstande). Den samme faseovergang, som skaber en slags orden i Universet, giver også masse til partiklerne.

Så, i korte ord, Higgs-partiklen var forudsagt til at løse to problemer for os, både at give masse til normale stofpartikler (hvorfor vi vejer noget), og at gøre de svage kræfter anderledes end de elektromagnetiske kræfter.

Hvad har vi lært om Higgs-partiklen indtil nu?

Begge eksperimenterne ATLAS og CMS har nu analyseret alle de data, der blev indsamlet i 2011 og 2012, og de har uden tvivl observeret en ny partikel.

Princippet bag sådan en opdagelse er vist skematisk i figur 2 (øverst til højre), hvor “some parameter” i dette tilfælde er Higgs-partiklens masse. Figuren viser, at man kan afgøre om der findes en Higgs og hvad den vejer, ved at se hvad der passer bedst med data, “baggrunden” som er Standard Modellen *uden* en Higgs, eller “Prediction with Higgs”, som, ja, er Standard Modellen *med* en Higgs.

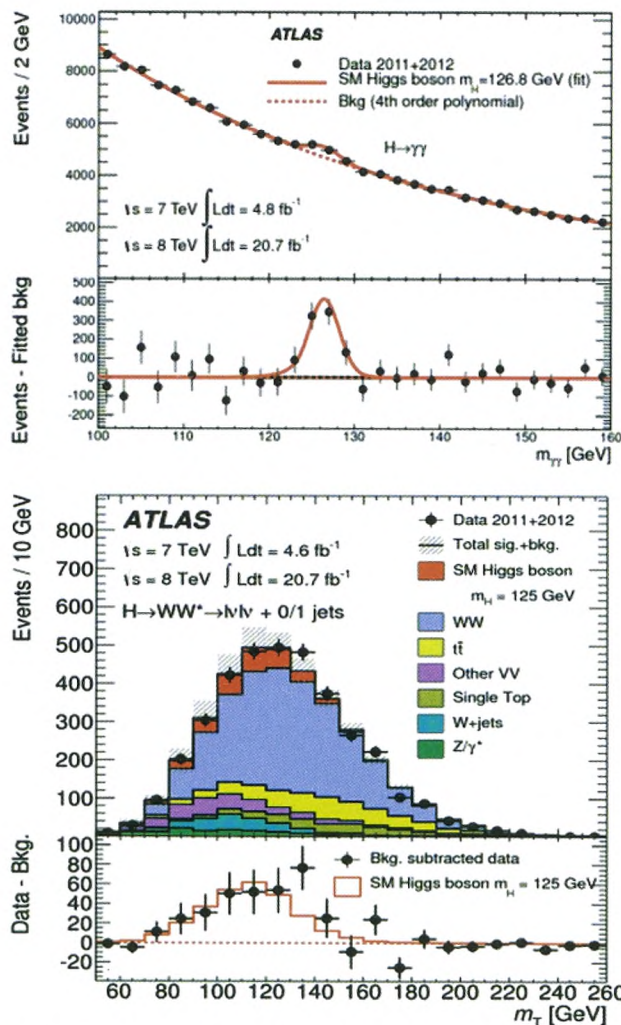


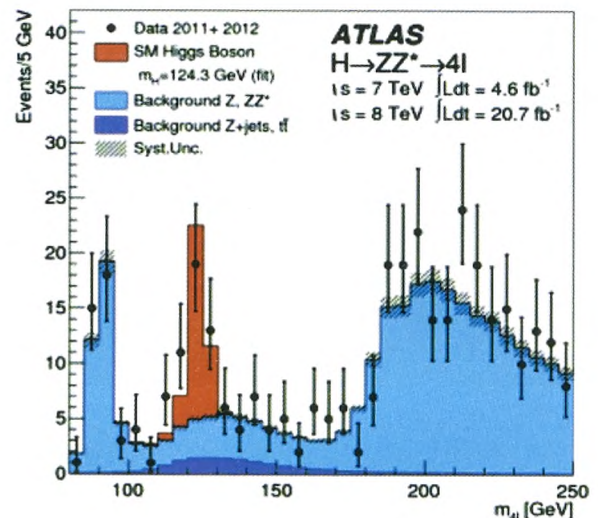
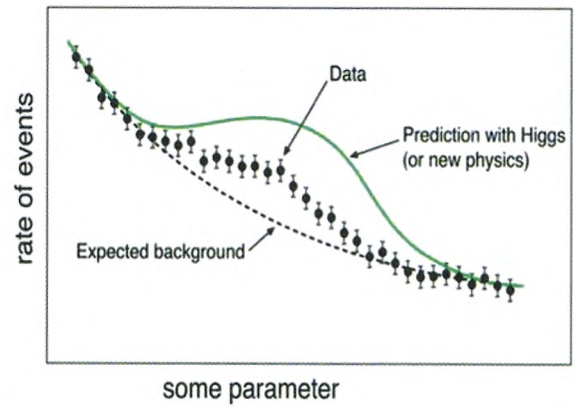
Figure 2. Fordelingen af massen af de synlige produkter efter den nye partikels henfald, for 3 forskellige slags henfaldsprodukter: 2 fotoner (øverst, venstre), WW (nederst, venstre), og ZZ (nederst, højre). For $\gamma\gamma$ og WW (henfaldskanaler der har høj baggrund), vises fordelingen fratrasket den forventede baggrund. Fra [4].

I de andre dele af figur 2 kan man se resultaterne fra ATLAS, som helt klart viser, at der er et signal – der er noget der stikker op over baggrunden. Disse figurer viser forskellige (og uafhængige) måder som Higgsen kan henfalde (til to fotoner, eller til to Z -bosoner, eller til W -bosoner). Fra disse figurer kan vi så måle den nye partikels masse, og i tabel 1 er vist en oversigt over to forskellige henfaldskanaler, og for de to uafhængige detektorer (ATLAS og CMS). Der er fin overensstemmelse, så eksperimenterne og de forskellige henfald finder altså den samme partikel. Det er jo rimelig heldigt!

Collaboration	channel	mass (GeV)
ATLAS	$\gamma\gamma$	$126.8 \pm 0.2 \pm 0.7$
CMS	$\gamma\gamma$	$125.4 \pm 0.5 \pm 0.6$
ATLAS	$4l$	$124.3^{+0.6+0.5}_{-0.5-0.3}$
CMS	$4l$	$125.8 \pm 0.5 \pm 0.2$
ATLAS	combination	$125.5 \pm 0.2^{+0.5}_{-0.6}$
CMS	combination	$125.7 \pm 0.3 \pm 0.3$

Tabel 1. ATLAS- og CMS-målinger af den Higgs-lignende partikels to mest oplagte henfaldskanaler (to fotoner, eller to Z -bosoner, der henfalder videre til 4 leptoner) og kombinationer af disse for hvert eksperiment [4, 5].

Når vi kender massen, så er det næste vigtige spørgsmål hvad partiklens spin er. Standard Modellen forudsiger en spin 0^+ -partikel, men hvad siger eksperimen-

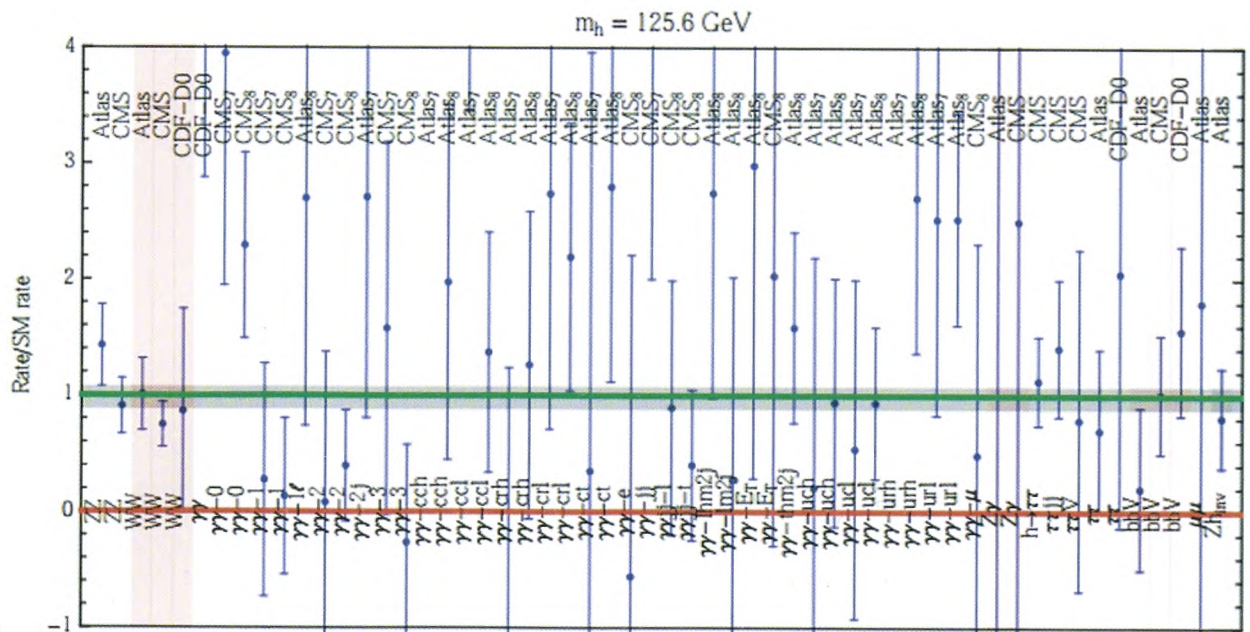


tet? Dernæst vil henfaldsraten til andre partikler være helt fastlagt hvis partiklen er en SM-Higgs, men hvad observerer vi? Disse spørgsmål bliver delvist besvaret i figur 3 og 4.

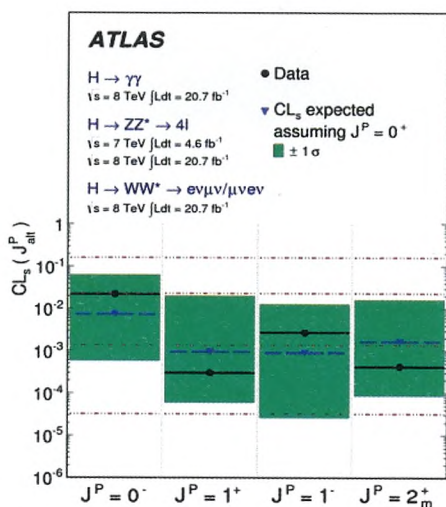
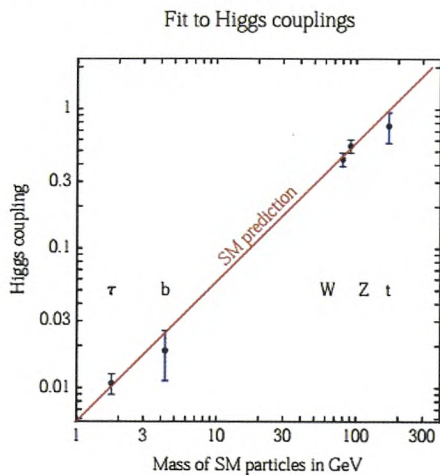
I figur 3 ser vi forholdet mellem henfaldsrater (observeret rate divideret med forudsagt rate) for mange forskellige måder, hvorpå partiklen kan henfalde. Hvis resultatet er tæt på 1, så er det en SM-Higgs. Hvis resultatet er tæt på 2, eksempelvis, så er det ikke en SM-Higgs. Resultaterne viser at eksperimenterne er konsistente med en SM-Higgs-partikel. Vi ser desuden, at usikkerhederne stadig er meget store, og det er fordi vi stadig kun har ganske lidt data. Vi glæder os derfor meget til LHC begynder at køre igen i 2015 med fornyet styrke.

I figur 4's venstre side ser vi, at vekselvirkningen mellem den nye partikel og almindelige partikler skalerer ganske præcist med de almindelige partiklers masse. Det er præcis som forudsagt for en SM-Higgs.

På højre side af figur 4 ser vi hvad den nye partikels spin er. Hvis data ligger langt væk fra 1 (på 2.-aksen), så er det spin ekskluderet. Vi ser, at både spin 1 og 2 er helt udelukket (indikeret med $JP = 1^+, 1^-, 2^+$), hvorimod vi skal have mere data for at ekskludere spin 0^- . SM-Higgs er forudsagt til at have spin 0^+ , så det ser meget lovende ud.



Figur 3. Henfaldsrater til forskellige partikler. Figuren viser forholdet mellem observation og forudsigelser for en SM Higgs-partikel. Fra [2].



Figur 4. Øverst: Hvor stærkt den nye partikel vekselvirker med andre SM-partikler [2]. Nederst: Spin af den nye partikel. Eksklusion af andre muligheder end SM-forudsigelsen (spin 0 med paritet +) er nu 99,7 % sikker, bortset fra tilfældet med spin 0 og paritet -, hvor vi stadig har brug for mere data. "CL" på 2-aksen betyder "Confidence Level", der repræsenterer vores tillid (confidence) til, at udelukke hypotesen om en given kombination af spin og paritet (J^P) for partiklen. Hvis $J^P = 1^+$ har CL = 3 sigma, betyder det, at vi udelukker med 3 sigmas tillid (= 99,7 %) at Higgsen har $J^P = 1^+$. Fra [3].

Fremtiden

LHC starter op igen i 2015 med forhøjet energi (omkring 13-14 TeV, hvor 2012 sluttede med 8 TeV). Den kommer også til at køre med langt flere reaktioner (højere luminositet).

Vi forventer inden for få års kørsel, at forbedrede observationerne præsenteret her, så vi enten kan sige med sikkerhed, at det virkelig er SM-Higgsen vi har fundet, eller alternativt, at vi finder små afvigelser fra SM-forudsigelserne, hvilket også vil være meget interessant. Det kunne for eksempel være, at man finder at Higgsen "lidt for gerne" henfalder til fotoner. Sådanne afvigelser ville være de første indikationer på fysik der rækker ud over hvad Standard Modellen beskriver. Uanset hvad, så bliver det nogle spændende år.

Litteratur

- [1] Stefania Xella (2012), På jagt efter Higgs-bosonen, KVANT nr. 2, maj 2012
- [2] The Universal Higgs Fit, P.P.Giardino et al, arXiv:1303.3570v2 [hep-ph]
- [3] Evidence for the spin-0 nature of the Higgs boson using the ATLAS data, ATLAS Collaboration, arXiv:1307.1432 [hep-ex]
- [4] Combined measurements of the mass and signal strength of the Higgs-like boson with the ATLAS detector using up to 25 fb-1 of proton-proton collision data, ATLAS Collaboration, ATLAS-CONF-2013-014
- [5] Combination of standard model Higgs boson searches and measurements of the properties of the new boson with a mass near 125 GeV, CMS collaboration, CMS-PAS-HIG-13-005.



Stefania Xella er lektor ved Niels Bohr Institutet og arbejder i gruppen for eksperimentel partikelfysik. Hun er aktivt medlem af "Higgs-hunter"-teamet ved ATLAS.

Forsinket referee report om *On the Constitution of Atoms and Molecules*

Af Tomas Bohr og Benny Lautrup

Da Niels Bohr indsendte sin historiske artikel til *Philosophical Magazine* i 1913 var det ikke almindeligt med anonyme bedømmelser ligesom i dag. Artiklens to forfattere har med 100 års forsinkelse læst artiklen grundigt og gennemgået Bohrs argumentation kritisk.

Niels Bohr skrev sin første artikel om kvantemekanikken i begyndelsen af 1913 med titlen “On the Constitution of Atoms and Molecules” [1]. Artiklen blev indsendt den 5. april og trykt i juli-udgaven af *Philosophical Magazine*. Senere på året uddybede Bohr sin teori i yderligere to artikler med samme hovedtitel og undertitlerne “Systems containing only a Single Nucleus” og “Systems containing several Nuclei”.

Anonyme bedømmelser af videnskabelige artikler (såkaldte *peer reviews*) var ikke almindelige i begyndelsen af det 20. århundrede, selv om princippet var foreslået langt tidligere. I stedet vurderede et tidsskrifts redaktør suverænt artiklens faglige indhold og accepterede eller afviste artiklen på dette grundlag. Et andet princip, der stadig anvendes nogen steder (fx i det amerikanske PNAS), er baseret på, at en artikel indsendes og anbefales af en tredje person. I Bohrs tilfælde var det Ernest Rutherford, der kommunikerede hans første artikler til *Philosophical Magazine*.

Efter opfordring fra Jens Ramskov ved *Ingeniøren* besluttede vi os i foråret til, at forsøge med et “peer review” af Bohrs første artikel af samme karakter, som nu anvendes af så godt som alle videnskabelige tidsskrifter. I bedømmelsen måtte vi naturligvis ikke eksplicit benytte viden, der er fremkommet senere end artiklen, selv om det i praksis kan være en smule svært at undgå. Vi forsøgte også at bruge et sprog og en lidt mere omstændelig stil, der mindede om den videnskabelige praksis omkring 1913, men da ingen af os er professionelle historikere, er det mål nok uopnåeligt.

Lige som de fleste andre fysikere havde vi faktisk aldrig læst artiklen rigtig grundigt, fordi hovedindholdet er blevet genfortalt i så mange senere artikler og lærebøger, hvor man har kunnet simplificere fremstillingen i lyset af den efterfølgende udvikling. Men det lønner sig faktisk at læse det hele. Det giver et stærkt billede af Niels Bohrs personlighed og den utrolige grundighed, hvormed han argumenterede sin sag, hvilket dog også indimellem gør teksten svær at følge. Artiklen giver også et slående indtryk af, hvor radikalt et brud med den herskende fysik han var klar til at tage. Han vidste fra sin doktordisputats, hvor store problemer der var med at få den klassiske elektrodynamik til at forklare stoffernes natur, for eksempel metallernes magnetiske egenskaber. Vi håber, at vores lille spøg kan inspirere til læsning af Niels Bohrs artikel i sin helhed, og vi

inkluderer et link til den originale tekst [1], så man kan følge henvisningerne i denne noget forsinkede referee report. 100 år er vel i overkanten selv for travle referees!



Figur 1. Niels Bohr på vej hjem fra England i sommeren 1912. Med i bagagen havde han skitserne i baggrunden, som viser at brintatomet ifølge den klassiske elektrodynamik er voldsomt ustabil. Fotografik baseret på fotos fra Niels Bohr Arkivet, København.

Litteratur

- [1] N. Bohr, On the Constitution of Atoms and Molecules, *Philosophical Magazine*, July 1913. Særtryk. <http://www.nba.nbi.dk/pdf/trilogypart1.pdf>
- [2] Jens Ramskov, Sønnesøn Bohr siger god for kritisk bedømmelse af Niels Bohrs artikel om atommodellen, *Ingeniøren* den 14. juni 2013, <http://ing.dk/artikel/soennesoen-bohr-siger-god-kritisk-bedoemmelse-af-niels-bohrs-artikel-om-atommodellen-159655> (Kopier linket)

Referee report [anonymous]

Author: N. Bohr

Title: Dr. phil.

Affiliation: Copenhagen, Denmark

Manuscript: On the Constitution of Atoms and Molecules

Submitted: April 5, 1913

The structure of the atom has in recent years been the subject of considerable interest. In the theoretical model proposed by J. J. Thomson [*Phil. Mag.* vii, p. 237 (1904)], the atom is seen as rings of circulating negatively charged electrons situated inside a uniformly distributed positively charged sphere. In the present article, the author introduces a Keplerian planetary model of the atom in which the negatively charged electrons circle around a positively charged *nucleus*. This model is inspired by the recent discoveries by Rutherford and collaborators on scattering of α -particles through large angles, which demonstrate that matter must contain extremely small and dense electrically charged objects.

As Larmor showed in 1897, an accelerated electrically charged particle will always emit electromagnetic radiation. In the planetary model, the energy of this radiation can only be taken from the electron, which therefore continuously spirals inwards until it merges with the nucleus. The conclusion is that the planetary atom must be unstable from the outset.

But instead of rejecting this model, the author daringly postulates that the undisturbed electron can remain in a set of discrete orbits, called stationary states, without emission of electromagnetic radiation, and that a transition of the electron between two such orbits is accompanied by emission of a single Planck energy quantum carrying the difference in the electron's binding energies in these orbits. A large part of the paper presents arguments for the basic assumption that the frequencies of the spectral lines are determined, not by corresponding mechanical frequencies of the system, but by *differences* in energies between the stationary states. This assumption is in stark contrast to ordinary electrodynamics, but the author shows that it can account for the discrete spectral lines of the substances and that it does not contradict ordinary electrodynamics in cases where that is known to work, such as the treatment of atoms in highly excited states or free electrons.

The crucial result in favour of the present atomic model is the derivation of a mathematical relation for the transitions between the discrete non-radiating atomic electron orbits and the precisely known discrete line spectra of the elements, in particular for hydrogen. The author thus establishes a relation between the Balmer-Rydberg constant and the fundamental natural constants, i.e., the charge e and mass m of the electron, and the "quantum of action" h introduced by Planck. In addition, he predicts several new spectral lines in hydrogen and, most importantly, that the lines observed by Pickering in the spectrum of the star ζ Puppis, and ascribed to hydrogen, do *not* derive from hydrogen but from ionized helium. This seems somewhat unlikely in the light of the existing experimental evidence since these lines have so far not been seen in the helium spectrum. It is, however, an issue that can be settled by experiment, and it must be expected that the publication of the present paper will soon lead to such experiments.

The new postulates put forward by the author introduce discrete (i.e. integer) numbers into otherwise continuous mechanical systems in a quite unexpected way. The author uses this "qualitative" feature of the theory to argue (p. 14, bottom) that one might expect "an absolute agreement between the values calculated ... and not only an approxi-

mate agreement". This is a strong claim with far-reaching consequences related to the exact identity of two systems in the same stationary state, such as two hydrogen atoms in the permanent state, which is completely foreign to ordinary mechanics.

The assumptions made by the author are very radical and it is hard at present to judge their validity. The author does not try to conceal this fact, but writes explicitly (p. 15, top) that "there obviously can be no question of a mechanical foundation of the calculations given in this paper" and further (p. 15, a few lines below) uses the word "symbol" about the angular momentum to emphasize that its meaning might not be fully in agreement with our present dynamics.

In spite of the radical views presented here - postulating a breakdown of Newton's mechanics and relating it to Planck's modification of Maxwell's electromagnetism - it is recommended that this paper should be published, because of its concrete numeric results and its carefully reasoned theoretical analysis. Although the validity of the theoretical foundations is hard to assess at present, the paper contains a number of precise predictions, which can be tested by experiment and may quickly determine, whether the path chosen by the author is a fruitful one.

Before publication the author is, however, asked to consider the following comments, which might lead to some revisions in the paper.

Questions and comments to the author

p. 1 (top) The author claims that the atom consists of a "positively charged nucleus surrounded by a system of electrons kept together by attractive forces from the nucleus", citing E. Rutherford [*Phil. Mag.* xxi, p.669 (1911)]. In this article Rutherford explicitly emphasises that his experiment does not determine the sign of the central charge. Neither does he use the word "nucleus" to denote the object carrying the central charge. In the recent article by Geiger and Marsden (1913), also cited by the author, it is likewise explicitly stated that the sign of the central charge has not been determined. The model presented in the present paper appears to reflect the author's own views on the structure of the atom.

p. 4 (bottom) To arrive at the stationary states, the author writes: "Let us now assume that, during the binding of the electron a homogeneous radiation is emitted of a frequency ν , equal to half the frequency of revolution of the electron in its final orbit". This is a very abrupt introduction of a very specific, and seemingly arbitrary, assumption of great consequence. It is slightly confusing since one of the author's key points is that the frequency of the emitted radiation is *not* given by a dynamical frequency in the system. The author elaborates on this issue several times later, and should consider introducing some of the material from §3 already at this place, thereby motivating the postulated form of Eq. (2) better.

p. 5 (middle) It is claimed that the non-radiating atomic states are "stationary as long as the system is not disturbed from outside". If this were rigorously true for even the most distant electron orbits, it would not be possible to establish a complete correspondence between the radiation emitted from such states and the observed Larmor radiation from accelerated charged particles, which is known to occur without external disturbances. Could it be that the stationary states are actually quasi-stationary and eventually and spontaneously must emit radiation and decay to deeper states until the lowest, truly non-radiating permanent state, is reached?

p. 7 (postulate (2)) Can the author give some indication of the process by which an electron jumps from one stationary state to another. How long time does this take? How can the radiation emitted be *homogeneous*, i.e. of a single frequency? Would this not require an infinite time for the electron to make the jump?

p. 9 (middle) One of the key results of the paper is the theoretical derivation of the Balmer-Rydberg spectrum for hydrogen. In fact, as shown in the high resolution experiments by Michelson and Morley [*American Journal of Science* **38**, 181 (1889)], the red H_α line is actually a closely spaced doublet. How can this be understood within the proposed model?

p. 11 (top) As mentioned above, the author predicts that the Pickering lines observed in mixtures of hydrogen and helium but not, so far, in pure helium, are actually due to helium and not, as believed up to now, to hydrogen. This requires that the helium in question is ionized by the loss of one of its two electrons. The author argues that "Hydrogen atoms can acquire a negative charge; therefore the presence of hydrogen in the experiments of Fowler may effect that more electrons are removed from some of the helium atoms than would be the case if only helium was present". It seems unlikely that hydrogen atoms in the hydrogen-helium mixtures will be able to capture an electron from the helium atoms. By the arguments used by the author, the outer electron of helium should be bound by an energy comparable with or larger than that of the permanent state of hydrogen, whereas the outer electron in negatively charged hydrogen should be extremely weakly bound.

p. 13 By introducing the more general relation $W = f(\tau)h\omega$, the author shows that the assumption Eq. (2) made earlier can be obtained from the correspondence between the theory proposed by the author and classical electrodynamics, which should remain valid, when the atom becomes very large, i.e., when the integer τ that describes the level of excitation of the level becomes large. This is done by showing that for a linear $f(\tau) = c\tau$, this correspondence fixes the value of the constant c to $1/2$, precisely as postulated in Eq. (2). The *linearity* of $f(\tau)$ is, however, inferred from the observed spectra, i.e., the Balmer spectrum. Can a more basic theoretical explanation be given?

p. 16 (middle) In the section on *absorption* of radiation, the author writes "From the circumstance that certain substances in a non-luminous state, as, for instance, sodium vapour, absorb radiation corresponding to the lines in the line-spectra of the substances, we may, on the other hand, conclude that the lines in question are emitted during the passing of the system between two states, one of which is the permanent state." It is not clear what "the lines in question" represent?

p. 17 (middle) The author writes " $E = h\nu$, where E is the difference between the total energy of the system in the two states". The use of the symbol E for energy is unfortunate since the author has already used it for the charge of the nucleus.

p. 19 (below middle) The author writes that "the bound electron by the collision could not acquire a less amount of energy..." and similarly "lose a less amount". Here the word "less" could perhaps better be replaced by "smaller".

p. 20-23 In §5 the author discusses atoms with more than one electron and in particular introduces a model of n electrons rotating in a ring similarly to the models used by Thomson [loc. cit.]. This seems a somewhat arbitrary choice,

since one might expect models with nearly spherical electron distributions to be at least as relevant (as noted by Thomson). For such cases the separation of the stability problem into those in the plane "that cannot be treated on the basis of ordinary dynamics" and thus "secured by the universal constancy of the angular momentum" (p. 23), and those out of the plane, which *can* be treated by ordinary dynamics, becomes untenable. All in all, the author is advised to defer the discussion of these more complicated atoms to Part II, which is announced on p. 21.

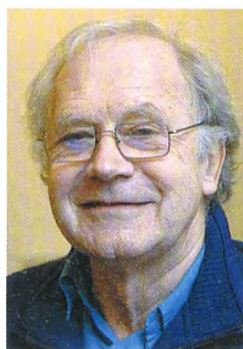
p. 21 (middle) The author writes: "corresponding to the motion of an electron in an elliptical orbit round the nucleus, there will be a motion of the n electrons in which each rotates in an elliptical orbit with the nucleus in the focus, and the n electrons at any moment are situated at equal angular intervals on a circle with the nucleus as the centre." Does this mean that the circular ring is "breathing", i.e. time dependent? If so, what is the consequence of introducing explicit time-dependence into the "stationary states"?

p. 23 (bottom) – 24 (top) Could the author explain more clearly why the assumption that the radiation is only scattered and not fully absorbed, means that one gets agreement with Nicholson, i.e., that the radiation lines correspond to dynamical frequencies in the system? In particular, the sentence "If the above assumption is correct, we immediately understand the entirely different form for the laws connecting the lines discussed by Nicholson and those connecting the ordinary line-spectra considered in this paper", is not clear to this referee.

General Compared to the atomic model of J. J. Thomson [loc. cit.], the planetary atom described here appears to endow the electrons with velocities that are much larger, about one 137th of the speed of light for the permanent state of hydrogen. Can the author indicate a possible way to determine these velocities by experiment?



Tomas Bohr er professor ved Institut for Fysik, DTU og leder af Center for Fluid Dynamik på DTU (Fluid•DTU).



Benny Lautrup er professor emeritus ved Niels Bohr Internationale Akademi (under Niels Bohr Institutet).

Foreningsnyt – foredrag i efteråret

Dato	Tid	Foredragstitel	Foredragsholder	Forening
Sep.				
2/9	19.15	Truslen fra Solen	Christoffer Karoff	AS (Kbh)
9/9	19.30	Truslen fra Solen	Christoffer Karoff	AS (Aarh)
9/9	19.30	Kepler-missionen og sfærernes musik	Jørgen Christensen-Dalsgaard	SNU
23/9	19.15	Pulserende stjerner (på engelsk)	Vichi Antoci	AS (Kbh)
24/9	17.00	Sophus Tromholt – Skæbnen og Nordlyset er jo lige uransagelige	Kira Moss og Peter Stauning	VHS
30/9	19.30	Pulserende stjerner (på engelsk)	Vichi Antoci	AS (Aarh)
30/9	19.30	Seneste nyt fra "Curiosity" på Mars	Morten Bo Madsen	SNU
Okt.				
11/10	18-24	Kulturnatten: Åbent i Østervold Observatorium	(se www.nbi.ku.dk)	NBI
21/10	19.15	400 år med stjernerotation	Mikkel Nørup Lund	AS (Kbh)
21/10	19.30	Vekselvirkning mellem medicin og protein-receptor, analyseret ved differentialgeometri og kvantekemi	Henrik Bohr	SNU
28/10	19.30	400 år med stjernerotation	Mikkel Nørup Lund	AS (Aarh)
Nov.				
4/11	19.15	Exoplaneter	Uffe Graae Jørgensen	AS (Kbh)
11/11	19.30	Exoplaneter	Uffe Graae Jørgensen	AS (Aarh)
11/11	19.30	DNA double helixen og optimale helix-pakninger	Jakob Bohr	SNU
22/11	9-16	Temadag om "Niels Bohr og kvantefysik"	(se www.nbi.ku.dk)	NBI
25/11	19.15	Stjernerød – supernovaer (på engelsk)	Giorgos Leloudas	AS (Kbh)
Dec.				
2/12	19.30	Stjernerød – supernovaer (på engelsk)	Giorgos Leloudas	AS (Aarh)
2/12	19.30	Opdagelsen af Higgs-partiklen og jagten på mørkt stof	Troels C. Petersen	SNU

AS (Kbh): Astron. Selskab (København), Auditorium 4, H.C. Ørsted Institutet, Universitetsparken 5, 2100 København Ø (www.astronomisk.dk).

AS (Aarh): Astron. Selskab (Aarhus), Matematisk Inst., Aarhus Universitet, Ny Munkegade 118, Bygn. 1530, Auditorium D2, 8000 Aarhus C.

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

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

NBI: Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, 2100 København Ø. Se adresse på www.nbi.ku.dk.

Astronomisk Selskab

Foredragenes tema er *Stjerner*. Stjernerne udgør langt det meste af, hvad vi kan se med det blotte øje på nattehimmelen. Set i et forskningsmæssigt perspektiv er stjerner dels i sig selv et spændende og udfordrende emne og dels spiller de en meget stor rolle for mange andre objekter som stjernehober, galakser og tåger. De udgør også omdrejningspunktet for planetsystemer, og hovedparten af alt det stof, som findes på Jorden er dannet inde i stjernerne. I denne foredragsrække vil vi se nærmere på resultater fra de senere års forskning i stjernerne og deres egenskaber.

Abonner på KVANT!

KVANT er medlemsblad for:

- **Selskabet for Naturlærens Udbredelse**
www.naturvidenskab.net og www.facebook.com/SNU1824
- **Dansk Fysisk Selskab** www.dfs.nbi.dk
- **Astronomisk Selskab** www.astronomisk.dk
- **Dansk Geofysisk Forening** www.geofysiskforening.dk

Mere Bohr-jubilæum

Niels Bohr Institutet i København har samlet en række aktiviteter på siden www.bohr2013.nbi.ku.dk.

Danmarks Fysik- og Kemilærerforening markerer 100-året for Bohrs atommodel på flere måder. Klik ind på siden www.kbhsj-fysikkemi.gc-data.dk.

Der er udgivet flere bøger, der markerer jubilæet. Se anmeldelser af dem i bladet.



Komplementaritetsprincippet anvendt i statskundskab

Af Jens Olaf Pepke Pedersen, DTU Space

I midten af 1980'erne undersøgte professor Erik Rasmussen om man kunne anvende Bohrs komplementaritetsprincip til at skabe klarhed over nogle af de grundlæggende problemer indenfor faget statskundskab. Selvom eftertiden ikke har fulgt op på hans initiativ, førte det til nogle originale idéer, som han blandt andet udgav på bogform i 1987.

Niels Bohr udviklede sit komplementaritetsprincip blandt andet for at kunne forklare dualiteten mellem bølger og partikler i kvantemekanikken, hvor for eksempel elektroner i nogle eksperimenter kan beskrives som partikler og i andre eksperimenter som bølger. Tankegangen er, at begge aspekter er nødvendige for en fuldstændig beskrivelse, også selvom de to beskrivelser gensidigt udelukker hinanden i eksperimenterne. Desværre har Bohr ikke selv givet en klar definition på komplementaritet, men han gjorde sig overvejelser om, at der måtte være analogier til komplementaritet i andre videnskaber end fysikken, for eksempel i biologi eller psykologi. I biologi kan man således drage en parallel i beskrivelsen af levende organismer, hvor man kan beskrive nogle af organismens funktioner ved hjælp af fysiske og kemiske processer, mens andre dele af organismen, for eksempel dens udvikling, adfærd og formål ikke kan reduceres til et fysisk-kemisk system.



Figur 1. Professor, dr.phil. Erik Rasmussen (1917-1995) var den ene af de to professorer, som blev knyttet til det nye fag Statskundskab i 1959. Han var desuden rektor for Aarhus Universitet 1976-1977.

Bohrs overvejelser har ikke vundet synderlig genklang udenfor fysikken, men et bemærkelsesværdigt forsøg på at anvende Bohrs tanker udenfor fysikken blev i midten af 1980'erne foretaget af professor Erik Rasmussen fra Institut for Statskundskab ved Aarhus Universitet, se figur 1. Erik Rasmussen, der var med til at grundlægge faget statskundskab her i landet, havde i 1984 valgt at søge afsked fra sit professorat, på et tidspunkt hvor han var fyldt 67 år og havde markeret sit 25-års jubilæum i professorstillingen, men han fortsatte sin virksomhed som emeritus og fik tid til at fordybe sig i analysen af grundlæggende teoretiske og forskningsteoretiske spørgsmål. Her lod han sig inspirere af Bohrs komplementaritetsbegreb og gav sig til at

undersøge, om det kunne anvendes til at forstå nogle af de grundlæggende problemer i statskundskab.

Hans overvejelser og tanker er beskrevet i bogen "Complementarity and Political Science" [1] som godt kan minde lidt om et fagligt testamente. Det er ikke nogen let opgave, Erik Rasmussen har stillet sig selv. Han går til opgaven med ydmyghed og understreger, at han ikke selv mener, at han er kvalificeret, fordi han blandt andet savner en dybere indsigt i atomfysik. Men eftersom der ikke er udsigt til, at en mere kvalificeret person vil tage udfordringen op, mener han alligevel at kunne begrunde sit arbejde med, at under de givne omstændigheder er selv en ufuldkommen optræden dog et bidrag af en vis værdi. I bogen beskæftiger Rasmussen sig først med objektivitetsproblemet og understreger, at her er der (på trods af selve måleproblemet i fysikken) en grundlæggende forskel på fysik og statskundskab [2]. Forskeren i statskundskab har således en fundamental og uomgængelig værdibinding, som han må være bevidst om både i sin forskningsproces og i fremstillingen af sine resultater. Alligevel argumenterer Rasmussen for, at der på trods af denne forskel er mange paralleller mellem de to fag.

Et eksempel på *komplementaritet* i statskundskab er analysen af den politiske proces, hvor han mener, at såvel en makro- som en mikroanalyse er nødvendig for en fuldstændig beskrivelse, selvom de to analyser gensidigt udelukker hinanden. Rasmussen skriver således, at man på makroplan ikke kan udstrække analysen til individniveau på anden måde end ved statistiske metoder, og omvendt, at man heller ikke kan konstruere en makroteori alene på grundlag af individuelle observationer. En tilsvarende dualitet finder han mellem begreberne determinisme og fri vilje, som begge (i deres ekstreme form) udelukker hinanden, men alligevel er nødvendige i en fuldstændig politologisk beskrivelse.

Et andet eksempel er i analysen af lighedsbegrebet [3], hvor han skelner mellem lige muligheder og lige resultater, for eksempel i undervisningssystemet. Lige *muligheder* vil her betyde, at en uddannelse er åben for alle og at de studerende må konkurrere på lige vilkår for at få adgang. Lige *resultater* vil imidlertid betyde, at man blandt andet skal tage hensyn til de studerendes sociale baggrund og bruge ressourcer på at give positiv særbehandling til de svage, således at alle opnår samme resultater, men dermed diskriminerer man samtidig de dygtige studerende. Argumentet i denne sammenhæng er, at man ikke kan analysere begrebet

lighed udtømmende uden at se på det både ud fra det synspunkt, at der skal være lige muligheder og at der skal være lige resultater, selvom de to synspunkter ikke er forenelige.

I statskundskab mener Rasmussen imidlertid, at der ikke er nogen grund til at forvente, at gensidigt udelukkende beskrivelser kun skulle optræde parvist, og for at beskrive dette fænomen introducerer han begrebet *pluralistisk komplementaritet*. Endelig introducerer han begrebet *supplementaritet* til at beskrive den situation, hvor man har gensidigt udelukkende beskrivelser, som imidlertid ikke tilsammen udgør en fuldstændig beskrivelse af systemet.

Supplementaritet støder man derfor ifølge Rasmussen ofte på i statskundskab, hvor man analyserer en situation ud fra et antal forskellige teorier eller modeller, som eventuelt udelukker hinanden, men hvor man ikke kan være sikker på, at de giver en udtømmende analyse af situationen, simpelthen fordi man ikke kan vide, om det ikke er muligt at beskrive den ved hjælp af en helt ny tilgang eller model. Det sidste vil ofte være tilfældet, og Rasmussen lader derfor også den mulighed være åben, at der ikke findes nogen eksempler på pluralistisk komplementaritet.

Eksemplerne som jeg har medtaget i denne korte gennemgang yder ikke fuld retfærdighed til Erik Rasmussens bog, hvor han søger at afklare fundamentale problemer i statskundskabsfaget, blandt andet om vekselvirkningen mellem forskeren og det objekt han studerer. Problemstillingen minder lidt om problemet med måleprocessen i atomfysik, hvor selve målingen påvirker det målte system, men fysikeren er alligevel heldigere stillet end samfundsforskeren, for selvom fysikeren (som Bohr også fremhæver) er en del af den natur, han studerer, så ændres naturen ikke af fysikerens undersøgelser.

Derimod er samfundsforskerne i en helt anden grad en del af sit eget studieobjekt. Samfundsforskeren påvirkes i selve studiet af samfundet af dette og af sin egen opfattelse af det, og ifølge Rasmussen gennemsyrrer det forskerens teorier og hans observationer. Samtidig kan selve det emne han studerer, undergå betydelige forandringer alene ved, at han studerer det.

Professor ved CBS, Morten Ougaard, har også forsøgt at overføre komplementaritetsprincippet til beskrivelsen af internationale relationer [4], med hensyn til om man skal prioritere *aktører* eller *strukturer*. Efter som dualiteten mellem aktører og strukturer bestemmer vores forståelse af det internationale system, mener Ougaard, at Bohrs komplementaritetsprincip kan anvendes til at belyse abstraktioner og begrænsninger i forståelsen af den politiske proces på dette niveau.

Det er dog ikke lykkedes at finde mange referencer til Rasmussens bog [1] og det tyder på, at hans forsøg på at bruge Bohrs komplementaritetsprincip ikke har vundet større udbredelse indenfor statskundskab, selvom det at han har skrevet bogen på engelsk viser, at han har rettet den mod et internationalt publikum. Begrebet *komplementaritet* bruges i statskundskab, men som regel ikke i Bohrs betydning.

Efter pensioneringen forsøgte Erik Rasmussen at indlevere sit arbejde for at opnå endnu en doktorgrad i statskundskab, men bedømmelsesudvalget afviste den, hvilket må have været et svært nederlag for ham. Det ændrer ikke på, at Erik Rasmussen har udviklet nogle originale ideer og forsøgt at bryde traditionelle rammer i statskundskaben.

Litteratur

- [1] Erik Rasmussen (1987), Complementarity and Political Science. An Essay on Fundamentals of Political Science Theory and Research Strategy. Odense University Press.
- [2] Erik Rasmussen (1987), Politologiens objektivitetsproblematik i kvantefysisk belysning, *Statsvetenskaplig Tidskrift*, bind 90, nr. 3, side 181-186.
- [3] Erik Rasmussen (1981), Lighedsbegreber, Berlingske Forlag.
- [4] Morten Ougaard (2004), Political Globalization: State, Power, and Social Forces. Palgrave Macmillan.



Jens Olaf Pepke Pedersen er seniorforsker ved DTU Space og medlem af Kvants redaktion. Han er gift med Kate Pepke Pedersen, der er lektor i statskundskab og international politik ved Hærens Officersskole.

PFEIFFER  **VACUUM**

Helium læksøger



**ASM 310 tilbydes resten af året
til en meget favorabel promotionpris.**

Tlf. 4352 3800 Fax 4352 3850
Erik.Fjeldgaard@pfeiffer-vacuum.dk

Niels Bohr Institutets fysikleksikon

Af Michael Quaade, Niels Bohr Institutet

I foråret 2013 lancerede Niels Bohr Institutet sit internetbaserede Fysikleksikon [1]. Det er et opslagsværk med emner indenfor fysik, astronomi og beslægtede fagområder. Artiklerne er skrevet af Niels Bohr Institutets medarbejdere og studerende. De redigeres af folk i kommunikationsafdelingen, der har mange års erfaring med formidling og pædagogisk præsentation af videnskabeligt materiale. Målgruppen er alle, der interesserer sig for naturvidenskabelige emner, ikke mindst elever i folkeskole og gymnasium.

Teksterne om hvert enkelt emne er opdelt i en grundbeskrivelse, der giver en kort og letforståelig introduktion til emnet, samt en mere detaljeret og uddybende beskrivelse. Hvert emne er illustreret med et passende udvalg af billeder, tegninger og animationer. I mange tilfælde er illustrationsmaterialet fremstillet specielt til leksikonet. Et par eksempler kan ses her på siden. Mange emner ledsages af relevante film og/eller foredrag med instituttets forskere. I undervisningssammenhænge er det tanken, at grundbeskrivelsen umiddelbart skal kunne forstås af en folkeskoleelev, mens den uddybende beskrivelse skal nå dybere og give udbytte for en gymnasieelev.

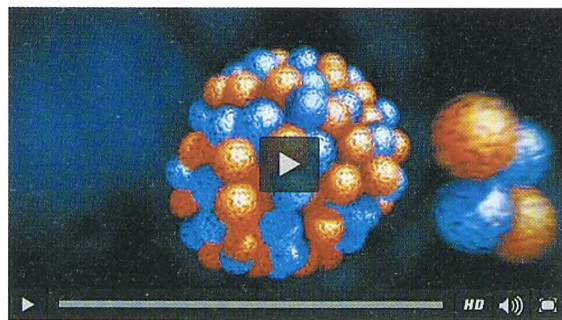


Figur 1. Et af billederne fra Fysikleksikons forside. Baggrundsbilledet er fra NASA.

Man kan søge efter emner i leksikonet på tre måder.

- Man kan slå op under et af alfabetets bogstaver og se en liste over de artikler, der begynder med det pågældende bogstav, i alfabetisk rækkefølge. På den måde kan man bruge Fysikleksikon helt som et klassisk trykt leksikon.
- Man kan gennemse lister over artikler om specifikke emner som fx astronomi og termodynamik.
- Man kan bruge fritekstsøgning til at søge efter ord i leksikonet. Det gøres med Googlesøgning i leksikonets websider og giver ofte mange søgeresultater.

På alle sider i leksikonet er de to nyeste artikler også vist, så stamkunderne bliver holdt orienteret om nytilkommet materiale. Det er planen at præsentere en ny artikel hver uge.



Figur 2. Animation til artiklen om alfastråling, www.fysikleksikon.nbi.ku.dk/A/alfastraaling (Mediafarm).

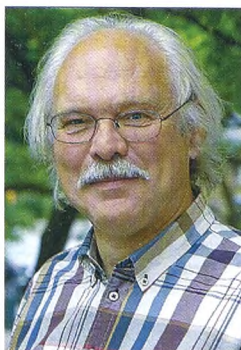
Fysikleksikon er i mange sammenhænge en mere velegnet kilde til information end fx Wikipedia. Artiklerne er skrevet af forfattere med faglig indsigt i de pågældende fysiske emner, så leksikonets oplysninger har en høj faglig pålidelighed. Emnerne er beskrevet uden overflødige fremmedord og fagjargon, så det er mindre omstændeligt end mange Wikipedia-artikler om naturvidenskabelige emner.

Det er ikke alle emner indenfor fysik, der er artikler om i Fysikleksikon. Forfatterne skriver naturligt nok om de emner, de arbejder med til daglig, så der er en vis overvægt indenfor fx astronomi og partikelfysik. Det betyder også, at der bliver en forholdsvis god repræsentation af emner tæt på forskningens frontlinje. Med tiden vil de mere grundlæggende emner også blive taget under behandling. I denne sammenhæng skal man lægge mærke til, at brugerne også kan stille forslag om emner.

God fornøjelse med Fysikleksikon.

Litteratur

- [1] Niels Bohr Institutets fysikleksikon, www.fysikleksikon.nbi.ku.dk



Michael Quaade er uddannet astronom fra Københavns Universitet og tidligere formand for Astronomisk Selskab. Han er hovedansvarlig for driften af Wieth-Knudsen Observatoriet i Tisvilde. Siden 2012 har han arbejdet i kommunikationsafdelingen på Niels Bohr Institutet, primært med at udvikle et webbaseret fysikleksikon. Foto: Ola Jakup Joensen.

Af Sven Munk, KVANT

Magnetfelt i centrum af Mælkevejen

ASTROFYSIK. Den amerikanske røntgen-satellit Swift opdagede i april en pulsar (PSR J1745-2900), som befinder sig et halvt lysår fra Mælkevejens centrale sorte hul. Pulsarer er hurtigt-roterende neutronstjerner (kompakte rester af stjerner), der udsender regelmæssige strålingspulser. For astronomer er dette fund held i lotteriet, for den tilhører en speciel klasse af pulsarer, en såkaldt *magnetar*, dvs. en neutronstjerne med et ekstremt kraftigt magnetfelt – op til 100 millioner tesla, hvor Jordens magnetfelt måles i mikrotelsa. Strålingen fra en sådan magnetar er stærkt polariseret, hvilket betyder, at det elektriske felt svinger i samme plan. Dette åbner op for at udføre målinger af magnetfelter omkring pulsaren og det sorte hul.

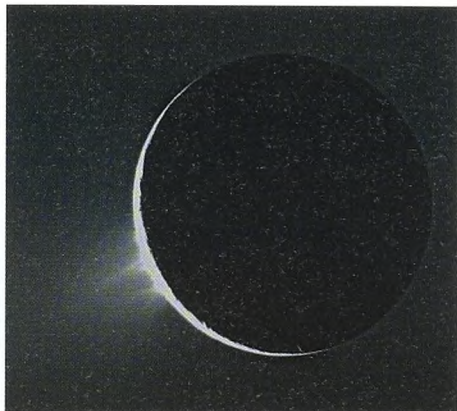


Bevæger radiobølgerne sig gennem et medium (evt. en gas), vil tilstedeværelsen af et magnetfelt på grund af Faraday-effekten give anledning til en drejning af strålingens polariseringsretning. Med radioteleskopet i Effelsberg er der iagttaget en stærk Faraday-drejning, hvorfor forskerne konkluderer, at der her findes et kraftigt og velordnet magnetfelt.

Kilder: 1) R. Eatough et al., Strong magnetic field around the supermassive black hole at the centre of the Galaxy, *Nature* 14. august 2013, <http://dx.doi.org/10.1038/nature12499>. 2) Røntgen-satellitten Swift. 3) Max-Planck-Institut für Radioastronomie / Effelsberg, <http://www.mpifr-bonn.mpg.de/effelsberg>.

Enceladus mærker tidevandseffekten

ASTROFYSIK. Enceladus er én af de 62 kendte Saturn-måner og den befinder sig ret tæt på Saturn. Det har været kendt i nogle år, at Enceladus sydpol er geologisk aktiv. Der findes her fontæner af vanddamp og is, som når op i stor højde. Nye undersøgelser med rumsonden Cassini mere end antyder, at det er tidevandskræfter, som leverer den nødvendige energi for at drive fontænerne. Månen kredser om Saturn på næsten ét (jord)døgn. Forskerne afdækkede, at et rytmisk skift af fontæneres styrke og lysstyrke følger denne omkredsende bevægelse.



Astronomerne formoder, at der i den tykke isskorpe findes ret meget vand. Når tidevandskræfterne opvarmer vandet bringes det op til overfladen via de såkaldte Tigerstriber på månens sydpol. Man forestiller sig idag, at der netop på sydpolen findes et lokalt ocean under isen. Kernen i Enceladus består af stenmateriale, som bliver æltet, når månen kredser om Saturn. Varmen fra kernen forplanter sig til det vand/is, som ligger over kernen. Så selv om overfladetemperaturen på Enceladus nok er 75 K, er den indre varmeudvikling stor nok til at frembringe vanddamp med et tryk, der er stort nok til at gennembryde isskorpen.

På baggrund af 252 fotografiske optagelser af månen kunne forskerne beregne, at udstrømningshastigheden i fontænerne kunne blive op til 700 km/t og nå højder på op til 450 km. Dette kan sammenholdes med at Enceladus har en diameter på 500 km.

Kilder: 1) M.M. Hedman et al., An observed correlation between plume activity and tidal stresses on Enceladus, *Nature* 500, 182-184, 8. august 2013, <http://dx.doi.org/10.1038/nature12371>. 2) Cornell University, Department of Astronomy, <http://www.astro.cornell.edu>.

Japansk jordskælv følt i Norge

GEOFYSIK. Jordskælv sætter Jorden i svingninger som en klokke. Følsomme seismometre kan registrere sitren i jordskorpen, selv om bølgerne har bevæget sig rundt om Jorden flere gange. Nogle steder kan bølgebevægelserne sammenkobles, så de også uden følsomme instrumenter bliver synlige. Det voldsomme jordskælv (Tohoku) nær den japanske kyst i 2011, som udløste en tsunami, markerede sig også i norske fjorde. På grundlag af videooptagelser og computer-simuleringer har geologer fastslået, at der i norske fjorde var bølger på op til 1-1,5 m i højden. Geologerne kunne også fastslå, at modsat det, man ville forvente, var det ikke de stærkeste primær-bølger, som her var på spil. Det var derimod de svagere sekundære bølger. Fjorde er mere følsomme for sådanne bølger, fordi fjordene er meget dybe.



De primære bølger bevæger sig hurtigt gennem fjorde, medens de sekundære er langsomme og med svingningstider på 1-2 min. Det er så langsomt, at det passer med de resonanser, som optræder i fjorde. Bølgerne nåede frem til Norge 1/2 time efter jordskælvet i Japan.

Kilder: 1) Stein Bondevik et al., Norwegian seiches from the giant 2011 Tohoku earthquake, *Geophysical Research Letters*, 40, issue 13, p. 3374-3378, 16. juli 2013, <http://dx.doi.org/10.1002/grl.50639>. 2) Universitet Sogn og Fjordane, <http://www.hisf.no>

Stigefald – breddeopgave 55 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 (nr. 55 i rækken her i KVANT):

Breddeopgave 55. Stigefald

En person befinder sig i toppen af en næsten lodret stående stige. Stigen begynder at vælte. Slår personen sig mindst i faldet ved at holde fast i stigen under faldet, eller ved at give slip på stigen? Begrund svaret.

Løsning

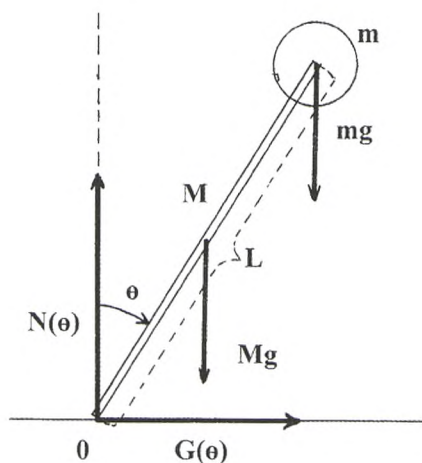
Farten $v_{\text{spids,slut}}$, hvormed personen rammer jorden, når hun/han holder fast i stigen under faldet, kan udregnes ud fra energibevarelsen under faldet. Hvis I_0 betegner inertimomentet omkring stigens fodpunkt, ω_{slut} vinkel-frekvensen af stigen, når den rammer jorden, m massen af personen, M massen af stigen, g tyngdefeltstyrken, og L længden af stigen, har vi:

$$\frac{1}{2}I_0\omega_{\text{slut}}^2 = mgL + \frac{1}{2}MgL, \quad (11)$$

eller

$$\frac{1}{2}(m + \frac{1}{3}M)v_{\text{spids,slut}}^2 = (m + \frac{1}{2}M)gL, \quad (12)$$

idet $I_0 = mL^2 + \frac{1}{3}ML^2$ og $\omega_{\text{slut}}L = v_{\text{spids,slut}}$.



Af ligning (2) fås:

$$v_{\text{spids,slut}} = \sqrt{\frac{(m + \frac{1}{2}M)}{(m + \frac{1}{3}M)}} \sqrt{2gL}. \quad (13)$$

Den anden faktor i dette udtryk for $v_{\text{spids,slut}}$ er personens hastighed ved et frit fald, når jorden rammes. Da den første faktor er større end 1 ses det, at personen slår sig mere ved at holde fast i stigen under faldet end ved at give slip på stigen og falde frit.

Kommentar

Den anførte løsning var, hvad vi havde i tankerne, da vi stillede opgaven til vintereksamen 2011. Desværre er løsningen forkert. Den ville være rigtig, hvis stigen var fæstnet til et hængsel i fodpunktet. Men normalt står stiger jo frit på jorden. Og så flytter fodpunktet sig typisk langs jorden ved slutningen af faldet. Det ses f.eks. ved faldet af en lineal stillet på højkant. På mit glatte skrivebord flytter fodpunktet sig imod faldretningen, når jeg stiller linealen på bordet før jeg lader den falde. Hvis jeg stiller den på et mindre glat stykke papir ender den derimod med at flytte fodpunktet i faldretningen. I ingen af tilfældene er fodpunktet et fast punkt under hele faldet. Til at begynde med roterer linealen om sit fodpunkt. Men mod slutningen af faldet skrider fodpunktet. Tilsvarende sker med den faldende stige.

Det kan forstås ved at udregne størrelserne af normalreaktionen $N(\theta)$ og gnidningskraften $G(\theta)$ under faldet så længe stigen roterer om sit fodpunkt, mens dens vinkel med lodlinjen, θ , forøges fra 0 til højst 90° . Den samlede masse gange accelerationen af det fælles tyngdepunkt for person og stige er lig med summen af kræfterne på systemet bestående af person og stige. Så længe stigen ikke skrider fås derfor:

$$\begin{aligned} G(\theta) &= (m + M) \frac{d}{dt} [L_{\text{CM}} \dot{\theta} \cos(\theta)] \\ &= (m + M) L_{\text{CM}} [\ddot{\theta} \cos(\theta) - \dot{\theta}^2 \sin(\theta)], \end{aligned} \quad (14)$$

og

$$\begin{aligned} (m + M)g - N(\theta) &= (m + M) \frac{d}{dt} [L_{\text{CM}} \dot{\theta} \sin(\theta)] \\ &= (m + M) L_{\text{CM}} [\ddot{\theta} \sin(\theta) + \dot{\theta}^2 \cos(\theta)], \end{aligned} \quad (15)$$

hvor g er tyngdefeltstyrken og L_{CM} er afstanden fra fodpunktet til det fælles tyngdepunkt for stige og person: $L_{CM} = L(m + \frac{1}{2}M)/(m + M)$. $\dot{\Theta}$ ($\ddot{\Theta}$) er den første (anden) tidsafledede af vinklen Θ , dvs. den øjeblikkelige vinkelhastighed (vinkelacceleration).

Energibevarelsen under rotationen om fodpunktet kan så bruges til at udregne $\dot{\Theta}^2$ og $\ddot{\Theta}$. Af

$$\frac{1}{2}I_0\dot{\Theta}^2 = (m + M)gL_{CM}[1 - \cos(\Theta)] \quad (16)$$

fås, idet $I_0 = (m + \frac{1}{3}M)L^2$:

$$\dot{\Theta}^2 = \frac{2g(m + \frac{1}{2}M)}{L(m + \frac{1}{3}M)}[1 - \cos(\Theta)]. \quad (17)$$

Differentiation heraf giver:

$$\ddot{\Theta} = \frac{g(m + \frac{1}{2}M)}{L(m + \frac{1}{3}M)}\sin(\Theta). \quad (18)$$

Ved at indsætte disse udtryk for $\dot{\Theta}^2$ og $\ddot{\Theta}$ i ligningerne (4) og (5) fås:

$$G(\Theta) = g \frac{(m + \frac{1}{2}M)^2}{m + \frac{1}{3}M} \sin(\Theta)(3 \cos(\Theta) - 2) \quad (19)$$

og $N(\Theta) =$

$$g(m + M) \left[1 - \frac{(m + \frac{1}{2}M)^2}{(m + M)(m + \frac{1}{3}M)} f(\Theta) \right], \quad (20)$$

hvor $f(\Theta) = 1 + 2 \cos(\Theta) - 3 \cos^2(\Theta)$.

Gnidningskraften $G(\Theta)$ vokser fra at være nul i lodret stilling til et maksimum, når $\cos(\Theta) = (1 + \sqrt{19})/6$ og $\Theta = 26,7^\circ$. Det ses ved differentiation af ligning (9). Siden ses den at skifte fortegn, når $\cos(\Theta)$ er faldet til $2/3$ og $\Theta = 48,2^\circ$.

Normalreaktionen $N(\Theta)$ ses ved differentiation af ligning (10) at have minimum for $\cos(\Theta) = 1/3$ og $\Theta = 70,5^\circ$. Hvis $m = 0$ er minimumsværdien nul. Hvis $M = 0$ er minimumsværdien $-\frac{1}{3}mg$ og $N(\Theta)$ nul for $\cos(\Theta) = \frac{2}{3}$ og $\Theta = 48,2^\circ$. Imellem disse yderpunkter for forholdet mellem m og M er $N(\Theta)$ nul og skifter fortegn ved en vinkel imellem $48,2^\circ$ og $70,5^\circ$ svarende til, at $\cos(\Theta)$ ligger imellem $2/3$ og $1/3$.

Det hele er ret indviklet!

For linealen, dvs. tilfældet $m = 0$, har $G(\Theta)/N(\Theta)$ et maksimum på 0,371 for $\Theta = 35,1^\circ$. Hvis $\mu_s < 0,371$ – linealen på mit skrivebord – vil $G(\Theta)/N(\Theta)$ derfor overstige μ_s inden denne vinkel nås og da begynde at skride baglæns. Hvis derimod $\mu_s > 0,371$ – linealen på papir – er kravet $G(\Theta) < \mu_s N(\Theta)$ opfyldt så længe $G(\Theta)$ er positiv, altså for $\Theta < 48,2^\circ$. Men for $\Theta > 48,2^\circ$ vil kravet til gnidningskoefficienten på et tidspunkt blive uopfyldeligt. Den numeriske værdi af den nu negative, altså modsatrettede, gnidningskraft vil nødvendigvis overstige $\mu_s N(\Theta)$ på vejen imod $N(\Theta) = 0$ for $\Theta = 70,5^\circ$. Fra da af skrider linealen så forlæns.

For $m \neq 0$ flytter maksimum for $G(\Theta)/N(\Theta)$ sig til større værdier end 0,371 og større vinkler end $35,1^\circ$, når værdien af m/M øges. For $m/M \rightarrow \infty$ går maksimumsvinklen imod $48,2^\circ$ og $\cos(\Theta) = 2/3$. Mønsteret er det samme for $m \neq 0$ som for $m = 0$, bortset fra, at den statiske gnidningskoefficient, der skal til for at opnå skridning fremad, er større. Hvor meget større afhænger af m/M . Da $G(\Theta)/N(\Theta) \rightarrow \tan(\Theta)$ for $m/M \rightarrow \infty$ så længe $\cos(\Theta) > 2/3$, vil stigen under alle omstændigheder skride fremad, hvis $\mu_s > \tan(48,2^\circ) = 1,12$.

Beregninger af den fortsatte bevægelse af den faldende stige med person på, efter at den er begyndt at skride, kan gennemføres ved brug af momentsætningen omkring tyngdepunktet, ligning (5) og $|G| = \mu_d N$, hvor μ_d er den dynamiske gnidningskoefficient. Men bevægelsen og beregningerne er indviklede og afhængige af værdierne af μ_s , μ_d og m/M . Jeg har derfor for nuværende opgivet at besvare breddeopgave 55. I praksis ville jeg nok under alle omstændigheder vælge at slippe stigen for ikke at blive viklet ind i den ved faldet. Den interesserede læser, der vil regne videre, henvises til R. Cross, "The fall and bounce of pencils and other elongated objects", *Am. J. Phys.* **74** (1), January 2006.

Det er en didaktisk pointe, at der fra de studerendes side ikke blev klaget over eksamensopgaven, selvom den i praksis var uløselig for dem. Den didaktiske kontrakt mellem lærere og studerende ved kurserne i fysisk problemløsning er ikke, at de til eksamen skal bedømmes på andelen af rigtigt besvarede opgaver. Kontrakten er, at de skal bedømmes på deres demonstrerede grad af tænkning som fysikere. De studerendes besvarelser var i større eller mindre grad, som vi i farten havde forestillet os besvarelsen. Altså svarende til at stigen er hængslet i fodpunktet. En besvarelse som vores ovenstående gav maksimum point.

Senere har vi kunnet benytte opgaven i undervisningen som illustration af, at problemer kan være mere komplekse end umiddelbart antaget.

Breddeopgave 56 og 57. Raketligningen og Keplers anden lov

Inden næste nummer af KVANT udkommer, kan læserne eventuelt overveje løsningen til disse to opgaver fra breddekurset på RUC (fra vintereksamen 1977 og sommerekamen 2001, nr. 56 og 57 i rækken her i KVANT):

Forklar virkningen af en raketmotor i det lufttomme rum.

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

Løsninger og kommentar bringes i næste nummer.

Aktuelle bøger

Af Jens Olaf Pepke Pedersen

Dansk fysiker frem af glemselen

Af: *Knud Jakobsen*, "Danskeren bag bomben", Berlingske Media/People's Press, 2013, 279 sider, 300 kr.

Charles Christian Lauritsen er næppe et navn, der er særlig kendt, hverken blandt fysikere eller i en større offentlighed, men det rådes der nu bod på med en bog om den fascinerende historie om den vestjyske tømrerlærling, der flygtede til USA under første verdenskrig for at slippe for dansk militærtjeneste og endte som professor på Caltech. Her kom han blandt andet til at arbejde på en stribe projekter for det amerikanske forsvar, og han fik også en central rolle i de sidste faser af udviklingen af atombomben under anden verdenskrig.

Forfatteren Knud Jakobsen er journalist og stødt ved en tilfældighed på en nekrolog over Charles Lauritsen i *The New York Times*, hvoraf det fremgik, at han var født i Holstebro, hvilket vakte forfatterens interesse og satte gang i et stort arbejde med at samle historien om Charles Lauritsen.

Efter ankomsten til USA i 1916 er Charles Lauritsen hurtig til at udnytte de muligheder, der var i USA. Efter et par uger i New York rejser han til Florida, og via et tilfældigt møde med en nybygger, går han i gang med at bygge en husbåd og lever af fiskeri og forskellige småjobs. Nogle måneder senere ankommer hans hustru sammen med deres søn, som blev født kort efter hans flugt fra Danmark.

Året efter rammes Florida af en orkan, som får Charles til at tænke på risikoen ved at bo på vandet med et lille barn, og familien flytter jævnlige og bevæger sig op langs den amerikanske østkyst. De ender i Boston, hvor han bliver ansat som teknisk tegner på et flådekontor og blandt andet skal tegne diagrammer til ubådsradioer. Det vækker hans interesse for radioen, som netop står overfor en rivende udvikling, og hans evne til hurtigt at omstille sig og tilegne sig ny viden betyder, at han, på trods af en manglende formel uddannelse, hurtigt kommer til at fungere som ingeniør.

Da depressionen rammer USA i 1926 bliver Charles arbejdsløs, og da han på det tidspunkt er kommet til Californien, begynder han at gå til forelæsninger på Caltech. Her kommer han i kontakt med Robert Millikan, og bliver ansat som assistent og sat til at arbejde på et projekt om elektronudsendelse fra metaller under påvirkning af stærke elektriske felter. Han viser sig at have fremragende evner i laboratoriet og tager på rekordtid en ph.d.-grad i 1929, bliver året efter ansat som adjunkt og allerede i 1935 bliver han udnævnt til professor.

Han arbejder i starten især på at udvikle Røntgenrør, der kan tåle spændinger op til en million Volt, og tager hurtigt de nye apparater i anvendelse til kræftbehandling. Ved hjælp af private midler får han oprettet et laboratorium for strålebehandling, som han bliver leder af. Han vover atter at besøge Danmark, hvor han bliver en nær ven af Niels Bohr og medlem af Videnskabernes Selskab.

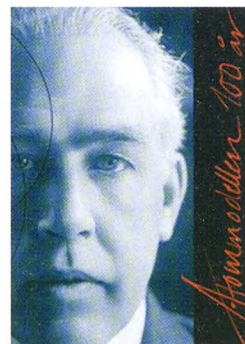
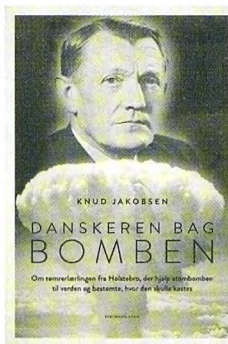
Det er dog USA's indtræden i anden verdenskrig, som giver Charles sit faglige gennembrud, hvor hans forståelse for fysik og teknik, sammen med en meget praktisk tilgang, betyder at han kommer til at levere omfattende bidrag til en række våbensystemer som granater og raketter. Charles bliver direkte involveret i selve produktionen, der foregår under et stort tidspres, og overraskende nok må han også bruge energi på at overbevise forsvaret om, at de har brug for de våben, han kan udvikle, og som ender med at spare mange amerikanske soldaters liv.

I 1944 bliver han inddraget i slutfasen med at fremstille de første atombomber og knyttes tæt til Oppenheimer, hvor han arbejder med detonatorerne til bomberne. Han bliver

også medlem af den lille Target Committee, der skal udpege målene for de to bomber.

Selvom den amerikanske National Academy of Sciences, som Charles Lauritsen var medlem af, har udgivet en lille biografi om ham, skrevet af en af hans tidligere studerende, giver bogen et omfattende indblik i en utrolig karriere og indeholder mange interessante detaljer. Den er udstyret med et stort noteapparat, som tyder på, at forfatteren har dokumentation for hver eneste oplysning. Det betyder til gengæld, at portrættet af Charles Lauritsen bliver noget tørt og faktaorienteret, men man må alligevel glæde sig over, at kendskabet til Charles nu kan blive udbredt til en større kreds herhjemme.

Som fysiker savner man dog en mere udførlig beskrivelse af hans indsats indenfor faget og ofte også en forklaring på, hvad hans opfindelser bestod i. Bogen er bestemt læseværdig, men ville have vundet ved at fokusere lidt mindre på de mange detaljer og til gengæld forsøge at trække de store linjer op i fortællingen.



Atommodellen 100 år

Redaktion: *Erland Andersen*, "Atommodellen 100 år", NTS-Centeret, 2013, 40 sider. Hæftet kan hentes gratis på www.fysik-kemi.dk/kbhsj eller købes for 10 kr. pr. stk. plus porto hos erland@naturfagskurser.dk.

Der har ikke været mangel på udgivelser i anledning af 100 året for Bohrs postulater, men dette jubilæumsskrift, der er blevet til på initiativ af formanden for Danmarks Fysik- og Kemilærerforening Erland Andersen, adskiller sig fra de andre ved at være direkte stilet mod 9.-10. klassetrin og l.g. Artiklerne i hæftet er således korte og velskrevne, og emnerne spænder vidt. Særligt spændende er artiklerne af Tomas Bohr, der som barnebarn af Niels Bohr fortæller om sin fascination af sin farfar, artiklen af Reidun Strømgren, der skriver om hvordan Bohr fik ideen til sin atommodel, og artiklen af Anders Bárány, der beskriver magtspillet bag tildelingen af Nobelprisen til Bohr. (At Niels Bohr Instituttet i en pressemeddelelse i forbindelse med udgivelsen af hæftet har omdøbt Anders Bárány til Barnaby må nok tilskrives en inspiration fra den populære engelske TV-serie om en kriminalkommissær af samme navn).

Haldor Topsøe, der heldigvis nåede at bidrage til hæftet inden han døde, skriver om sit venskab og samarbejde med Bohr, blandt andet om etableringen af Risø arbejdet sammen ham, mens Finn Aaserud bidrager med en kort artikel om Niels Bohr instituttets historie. Erling Andersen har selv sammen med Holger Bech skrevet den indledende artikel om tiden fra Big Bang til de første atomer, hvorefter Anja C. Andersen fortsætter fortællingen om Universets historie med produktionen af grundstoffer i stjerner og supernovaer. Selvom begge artikler er gode, forekommer relationen til Bohrs atommodel noget søgt i denne sammenhæng, og man kunne måske med fordel have gjort mere ud af den lille fine historiske gennemgang af atommodeller, som Christian Petresch har bidraget med. Alt i alt er det dog blevet til et fint lille hæfte, som forhåbentlig også når ud til målgruppen.

Færøerne venter invasion ved total solformørkelse

Af Erik Fey, Hjørring Rejsecenter

Om ca. halvandet år, den 20. marts 2015 om morgenen, vil der optræde en total solformørkelse på og omkring Færøerne. Efterspørgslen på flybilletter og sengepladser er overvældende. Netop hjemkommen fra 12 dage på Færøerne, er jeg ikke i tvivl om, at Færingerne venter en invasion i en størrelsesorden som øerne aldrig har oplevet det før. Men meget kan lade sig gøre med den rette forberedelse og mange års erfaring i rejsebranchen.

Det er spændende at se, om forventningerne holder stik, men tilmeldinger og forespørgsler strømmer ind fra hele verden, og derfor står Færøerne i øjeblikket i en meget vanskelig situation. Der er ikke overnatningsmuligheder nok!

Det har desværre betydet, at priserne har nået skyhøjder på mange hoteller, og alene snakken om de høje priser er med til yderligere at sætte priserne op. Der er udenlandske operatører, der er villige til at betale næsten hvad som helst for at få plads til deres kunder. Private lejer deres huse ud til fantasipriser og flytter selv ned i kælderen. Allerede for tre år siden reserverede vi flere hundrede sengepladser, fordelt lige fra spejdgårde til 4-stjernede hoteller. Vi har først nu kunnet få priserne, og en del af dem er meget rimelige, mens andre forlanger ublu priser.

Vi har ikke villet deltage i dette kapløb og har derfor valgt at chartre en passagerfærge fra DFDS med plads til 1250 personer, hvor gæster der ankommer med færgen eller med fly overnatter. Flere andre skibe har allerede meldt deres ankomst, bl.a. seks store krydstogtskibe, men det er lykkedes os at få en meget attraktiv kajplads i den smukke Kollafjord.

Men man skal også kunne komme fra og til lufthavnen og rundt på øerne, og de få busser der er til rådighed er allerede fuldt booket op, så vi har valgt at supplere med danske busser og forventer at sende 20 busser op med skibet, så vi kan tilbyde alle en hurtig og nem transport. Passagerskibet sejler normalt fra Amsterdam til Newcastle, men bliver taget ud af drift i en uge og sendt til Færøerne. Vores busser skal derfor ombord i Amsterdam og der bliver derfor også mulighed for at stige på en bus i Danmark og opleve en sejltur til Færøerne, hvis det skulle ønskes. Vi tilbyder gratis bus fra Danmark og gratis færgetransport fra Amsterdam til Færøerne.

Hvis man ikke vil sejle har vi desuden chartret 3 fly af typen Airbus, der kan tage 144 passagerer af gangen og vi flyver fra Kastrup og Billund. Lufthavnen på Vagar har haft travlt i den sidste tid, med at koordinere de mange fly, der vil ankomme til Færøerne. Foruden de fly der vil lande forventes det, at der vil være op til 40 fly i luften over Færøerne under solformørkelsen og de vil blive "pakket" i to højder med en afstand af ca. 40 km i en linie op mod Svalbard.

Vi arbejder på, at få amerikaneren "Mr. Eclipse" alias Fred Espenak til at være "headspeaker" og Michael Cramer Andersen vil være "first speaker" ved en festaften i Nordens Hus den 19.03.15. Der vil blive musik og færøsk folkedans, så det bliver en festlig indledning til solformørkelsen den næste dag.

Og hvordan er det så lige med tåge og skyer? Ja, det var godt at vide, men vi har været deroppe sidste år og fra fjeldtoppene kunne vi se Solen stå op klart og tydeligt. Vi har derfor udvalgt fire forskellige steder hvor mulighederne er gode, og allerede om morgenen den 20. marts har vi "spejdere" ude for at se, hvor de bedste lokaliteter findes. Med vore busflåde kan vi hurtigt transportere deltagerne til det rette sted. Det bliver spændende!

Vi forventer at have priserne m.m. klar i begyndelsen af september måned og alle der har bedt om oplysninger på mail vil få tilsendt disse. På gensyn! PS. Se annoncen nedenfor.

TOTAL SOLFORMØRKELSE PÅ FÆRØERNE 2015



Vi tilbyder rejser til den totale solformørkelse på Færøerne den 20. marts 2015.

Flyv enten med Atlantic Airways eller sejl med DFDS' Princess Seaways til Færøerne.



I begge tilfælde sker overnatning i 2- eller 4-køjekamre og skibet sørger for forplejning ombord. Skibet vil ankomme til Færøerne den 17. marts kl. 7 om morgenen og afrejse den 20. marts ved midnatstid.

Hvis man *sejler* er der gratis bustransport til Amsterdam fra Frederikshavn gennem Jylland eller fra København via Fyn, samt gratis sejladse fra Amsterdam til Færøerne og retur. Hvis man flyver er der tillægspris.

Priser fra 6.980,- der inkluderer:

- Bustransport fra Danmark til Amsterdam og retur.
- Sejladse Amsterdam/Færøerne og retur.
- Ophold i valgte kahytkategori, alle med bad/toilet.
- 4 morgen og 4 middagsbuffeer.
- Kørsel til og fra solformørkelse.
- Danske og færøske guider til rådighed.

For priser og fuldt program kontakt Erik Fey på mail: hj-rejs@mail.dk eller tlf. 98 95 80 90.
www.hj-rejs.dk og www.solformoerkelse2015.dk.

Fysikårsmøder i DFS og Kif

DFS Årsmøde den 14. november

Dansk Fysisk Selskabs årsmøde 2013 vil finde sted torsdag den 14. november på H.C. Ørsted Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, som et heldagsmøde fra kl. 10-17. Der vil være foredrag (på engelsk) med temaet "Højdepunkter i Dansk Fysik 2012-2013". Generalforsamlingen i DFS vil finde sted kl. 13-14. Der vil være fri adgang til mødet (frokost dog mod betaling). Fysikkolleger fra gymnasiet er særdeles velkomne. Nærmere oplysninger vil kunne findes på DFS hjemmeside: www.dfs.nbi.dk.

Kif Årsmøde den 12. november

Netværk for Kvinder i fysik (Kif) holder årsmøde dagen før DFS, den 12. november 2013, på H.C. Ørsted Institut. Der vil være foredrag, poster-session med korte spotlightpræsentationer samt overrækkelse af Kif-prisen. Klokken 16.00 bliver der afholdt generalforsamling for Kifs medlemmer. Dagen afrundes med en selvbetalt middag, som plejer at være særdeles hyggelig og givende. Kifs årsmøde er åbent for alle interesserede, mens kun medlemmer er stemmeberettigede til generalforsamlingen.

Der er i år flere af vores bestyrelsesmedlem-

mer, som trækker sig, og der er derfor mulighed for en plads i bestyrelsen. Vi vil på det stærkeste opfordre til, at man overvejer dette ☺

Registrering til Kifs årsmøde foregår via DFS' hjemmeside www.dfs.nbi.dk.

Kif-prisen

Kif-prisen uddeles for at skabe opmærksomhed omkring kvinders betydning for fysikkens udvikling. Prisen skal opmuntre og støtte unge kvindelige fysikere til at fortsætte deres karriere inden for fysik. Mulighederne for fremtidens fysikere er mange, bl.a. ph.d.-studium, forskerstilling, gymnasielærer, udviklingsingeniør eller naturvidenskabelig formidler. Prisen skal være med til at synliggøre kvindelige fysikere som rollemodeller såvel på universiteterne som i samfundet og i erhvervslivet.

Kif-prisen er en ærespris, der gives til en kvindelig ph.d.-, specialestuderende eller nyuddannet lærer, hvis arbejde udmærker sig ved videnskabelig originalitet, særligt vellykket formidling af arbejdet, eller en ekstraordinær indsats i undervisningen.

Deadline for indstillinger til Kif-prisen er fredag den 11. oktober 2013. Hele prisopslaget findes på Kifs hjemmeside www.kif.nbi.dk.

Bohr på tegneserie

For 10 år siden udkom en tegneserieroman på ca. 300 sider om Bohrs liv, forskning og politiske virke. Historien er grundigt researchet og medrivende skrevet, af *Jim Ottaviani*, der er universitetsbibliotekar og oprindeligt uddannet kernefysikingeniør.

Tegningerne, der er udført af *Leland Purvis*, udtrykker både drama og humor og forklarer en masse kvantefysik pædagogisk. Et par eksempler fra bogen er vist herunder. Ottaviani har desuden skrevet en tegneserieroman i 2011 om *Feynman*, med tegninger af *Leland Myrick*. Begge bøger kan varmt anbefales.

Michael Cramer Andersen

