



LUND UNIVERSITY

Kvantfysik i vardagen

Pendril, Ann-Marie

Published in:
Atommodellen 100 år

2013

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Pendril, A.-M. (2013). Kvantfysik i vardagen. *Atommodellen 100 år*, 22-24.
<http://bohr2013.nbi.ku.dk/skoleprojekter/bohr-haefte/>

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00



Hommodellen 100 år



Atommodellen 100 år

I anledning af 100 året for Bohrs postulater udgives hermed en række artikler skrevet af personer der på en eller anden måde har haft berøring med Niels Bohr, Bohrs Institut eller Bohrs atommodel fra 1913.

Én af artiklerne er skrevet af Haldor Topsøe som har kendt og arbejdet sammen med Niels Bohr.

To artikler beskriver dannelsen af de første atomer få hundrede tusinde år efter Big Bang samt produktionen af grundstoffer i stjerner og supernovaer. Artiklerne er skrevet af Holger Beck Nielsen, Erland Andersen og Anja Andersen.

Fra Norge har Reidun Renstrøm skrevet en artikel om hvordan Bohr fik ideen til sin atommodel og fra Sverige har Anders Bårány skrevet om Bohr og Nobelprisen mens Ann-Marie Pendrill har givet eksempler på hvor vi støder på kvantefysik i hverdagen.

Tidligere leder af Bohrs Institut, John Renner Hansen, har skrevet om kvantefysikkens indflydelse på økonomien.

Lederen af Bohr Arkivet, Finn Aaserud, har skrevet en biografi om Bohr samt en artikel om Institutets historie.

I "Historien om atomet", fortæller Christian Petresch om hvordan atommodellerne har udviklet sig gennem historien.

I sidste kapitel fortæller Niels Bohrs barnebarn Tomas Bohr om nogle af de egenskaber der var med til at gøre Niels Bohr til noget helt specielt!

Hæfter er illustreret af Mette Høst og nogle af billederne er venligst stillet til rådighed af Niels Bohr Arkivet. Fremstillingen af hæftet er gjort mulig ved støtte fra NTS-centeret www.nts-centeret.dk.

Yderligere eksemplarer af hæftet kan downloades fra:
www.nbi.ku.dk eller fysik-kemi.dk/kbhsj eller bestilles til kostpris hos erland@naturfagskurser.dk.

God fornøjelse med læsningen.

Erland Andersen
Redaktør

Fra ingenting til de første atomer!



AF ERLAND ANDERSEN OG HOLGER BECH NIELSEN

Naturvidenskabens bedste forklaring på universets opståen og udvikling er, at det blev dannet ved en slags "eksplosion" som fandt sted for 13,7 milliarder år siden. Den betegnes Big Bang teorien.

Mange forestiller sig, at Big Bang fandt sted i et punkt, men det vil være mere korrekt at sige at det var i hele rummet der skete en "eksplosion". Ved Big Bang opstod strålingen, og der blev dannet mange forskellige partikler, samtidig med at universet udvidede sig ekstremt hurtigt. Tiden som vi forstår den i dag eksisterede ikke før Big Bang.

Lige efter Big Bang var der i rummet hovedsageligt et kvark-gluon-plasma, lidt andre eksotiske partikler samt elektromagnetisk stråling samtidig med at temperaturen var utrolig høj. I løbet af inflationsperioden begyndte udvidelsen af universet at aftage i hastighed samtidig med at temperaturen faldt.

Lige efter inflationstiden ca. et mikrosekund efter Big Bang var temperaturen faldet så meget at kvarker og gluoner kunne slå sig sammen og danne mesoner samt baryoner som protoner og neutroner.

Et par minutter efter Big Bang var temperaturen faldet så meget, at protoner og neutroner kunne bindes til hinanden, hvorved de første heliumkerner samt et par andre lette



atomkerner blev dannet. Mange protoner var stadig isole-
rede og fandtes altså som hydrogenkerner. Atomer var ikke
dannet endnu da temperaturen stadig var for høj til at elek-
tronerne kunne fastholdes omkring en atomkerne.

I begyndelsen var der stort set lige mange partikler og
antipartikler, men af grunde vi endnu ikke kender blev der
dannet lidt flere partikler end antipartikler. Dette overskud af
partikler er grunden til at vi er her i dag, for når partikler og
antipartikler mødes, forsvinder begge slags partikler og bliver
til elektromagnetisk stråling eller eksotiske partikler.

Til enhver partikel hører en modsat partikel kaldet en anti-
partikel.

Antipartiklen har præcis de samme egenskaber som partik-
len, men har de modsatte ladninger.

Protonen er positiv elektrisk ladet. Antiprotonen er negativ
elektrisk ladet.

Elektronen er negativ elektrisk. Positronen (antielektronen) er
positivt elektrisk ladet.

Positronen blev forudsagt i 1928 og opdaget i den kosmiske
stråling i 1932

Naturvidenskabsfolk har ganske godt check på tiden efter
 10^{-12} sekund, medens tiden fra Big Bang til 10^{-12} sekunder er
noget mere usikker. Det skyldes, at det endnu ikke har været
muligt at udføre eksperimenter med de store accelerators,
som kan eftergøre de ekstremt høje temperaturer, der her-
skede i det første korte øjeblik efter Big Bang.

De teorier og modeller naturvidenskabsfolk bruger til at be-
skrive, hvad der skete kort efter Big Bang, bygger bl. a. på at
det har været muligt - ved acceleratorsne rundt om i verden
- at efterligne den høje temperatur der var 10^{-12} sekund efter
Big Bang. Desuden kan man finde stjerner på hvis overflade
sammensætningen af kerner svarer til den som var til stede
i universet og som blev efterladt da kernereaktionerne som
set gik i stå et kvarters tid efter Big Bang.

Kigger vi ud i universet i dag er det, som dengang, helt do-
mineret af hydrogen og helium!

I tiden til omkring 70.000 år efter Big Bang var universet
strålingsdomineret og indeholdt de partikler som var blevet
tilovers efter annihilationen mellem partikler og antipartikler.
Det var hovedsaglig fotoner, protoner, neutroner og elek-
troner.

På grund af tyngdekraften ville partiklerne have tendens til
at klumpe sig sammen, men trykket fra strålingen i universet
forhindrede denne sammenklumpning.

Omkring 70.000 år efter Big Bang var stråletrykket aftaget
så meget at det mørke stofs masse fik overtaget og stoffet
begyndte nu at klumpe sig sammen.

Der var stadig ikke dannet atomer fordi temperaturen var for
høj til at elektronerne kunne fastholdes af atomkernerne.

MØRKT STOF

Målinger af stjernernes fart om Mælkevejens centrum
har vist at stjernerne bevæger sig alt for hurtigt i for-
hold til massen i Mælkevejens centrum. For at forklare
dette har forskerne indført mørk masse, altså stof der
ikke reagerer på fotoner (lys). Beregninger viser at
næsten 25% af al masse i Universet skyldes mørk stof!

Lyset vekselvirkede med de frie elektroner og andre frie
ladede partikler, tilsammen kaldet plasma. Plasmaen var så
varm, at den var stærkt glødende og de frie elektroner gjorde
den helt uigennemsigtig.

Omkring 370.000 år efter Big Bang var rummet udvidet så
meget at det var afkølet til en temperatur svarende til Solens
overflade. Rummet var gul-glødende og temperaturen var
omkring 4.000 °C. Ved denne temperatur kan elektroner
fastholdes omkring en atomkerne og de første atomer blev
derfor skabt ca. 370.000 år efter Big Bang.

De frie elektroner og andre ladede partikler var dermed stort
set væk. Rummet blev gennemsigtigt da det nu bestod af en
tynd gas.

Den energi, der var til stede da universet var minutter gam-
melt var kun nok til at danne atomkerner af hydrogen helium
og anelse lithium så nu dannedes de egentlige grundstoffer
altså hele atomer af disse kerner, grundstofferne hydrogen
og helium samt en anelse litium.

Rummet var fyldt med et gulligt lys, men da universet fortsat-
te med at udvide sig blev lysets bølgelængde større og større.

I dag kan vi "se" lyset der blev skabt 370.000 år efter Big Bang som en rimelig ensartet elektromagnetisk mikrobølge stråling med en bølgelængde på ca. 1 cm.

Samtidig med at elektronerne blev "fanget" af atomkernerne kom det meste af den elektromagnetiske stråling til at ligge indenfor det synlige område.

Ved rummets udvidelse og afkøling blev bølgelængden større og større så lyset først blev rødt og derefter infrarødt. Til sidst blev bølgelængden så stor at rummet blev helt mørkt. En halv til en hel million år efter Big Bang var først og fremmest hydrogenet samlet i store klumper. De første stjerner var dermed dannet og der kom igen synligt lys i rummet.

I stjernerne sker der en fusion af hydrogen- og senere af heliumkerner og videre af kul etc. og dermed begynder dannelsen af tungere grundstoffer end de tre grundstoffer som blev skabt de 37.0000 år efter Big Bang. Det kan I læse meget mere om i Anja Andersens artikel.

Hvorfor tror naturvidenskaben på big bang?

Et af de vigtigste argumenter til støtte for Big Bang teorien er, at astronomen Edward Hubble i 1920-erne opdagede, at lyset fra galakser havde forskudte spektre, lyset var rødforskudt.

Det kunne man forklare med at galakserne bevægede sig væk fra hinanden.

Det ses oven i købet at rødforskydningen bliver større og større jo længere galakserne er væk.

Når galakserne således bevæger sig væk fra hinanden er det rimeligt at antage, at de på et tidligere tidspunkt har været tættere på hinanden og at stoftætheden i universet må have været meget større end i dag.

Et andet vigtigt argument er at Gamow, ud fra Big Bang teorien, i 1948 forudsagde den mikrobølge baggrundsstråling, som først blev påvist næsten 20 år senere.

En stor støtte for Big Bang teorien er også beregningen af, hvor mange forskellige isotoper af hydrogen-, helium- og lithium-kerner der blev dannet i de første minutter efter Big Bang. Beregningerne passer fint med det, man har observeret på stjerneroverflader, der ikke er forstyrret.

Der er stadig uløste problemer!

Selv om Big Bang teorien giver forklaring på mange af de fænomener vi kan iagttage og måle i universet, er der flere problemer med teorien om Big Bang.

Vores nye forståelse for partikelfysik er svær at kombinere med Big Bang teorien.

Ud fra studierne med acceleratorene er man efter en lang og kompliceret forskning nået frem til en partikelmmodel, der kaldes Standard Modellen.

Vi regner med at temperaturen lige efter Big Bang eller begyndelsen, hvordan den nu har været, var meget højere end vi i dag er i stand til at frembringe i de store partikel acceleratorer som dem i Cern.

Ved hjælp af Standard Modellen kan vi ikke forklare hvorfor der tilsyneladende opstod flere partikler end antipartikler. Hvis Standard Modellen var den endelige sandhed om Big Bang tiden ville rummet og universet ikke se ud som det rent faktisk gør! Der ville slet ikke være stort nok overskud af partikler over antipartikler til at lave alle de stjerner og galakser - eller os selv - som man ser.

Et andet problem ved Big Bang teorien er, at vi har svært ved at forklare inflationsperioden ordentligt.

Under inflationsperioden svulmede universet op mindst svarende til at gå fra et atoms størrelse til at have et omfang som vort solsystem.

Inflationsperioden må have været så lang at udvidelsen kunne lade sig gøre, men det har foreløbig vist sig at være rigtigt svært at formulere en teori der gør dette muligt. Med Standard Modellen alene ser det i første omgang endnu sværere ud at få forklaret inflationen.

Big Bang teorien giver heller ikke nogen forklaring på selve "skabelsen" af universet, men forklarer kun hvad der skete efterfølgende - og specielt efter inflationsperioden.

Vi ved ikke om der måske var noget før Big Bang, om der er parallelle universer eller?

Her er god baggrund for spekulation, men følger vi Big Bang teorien er det meningsløst at spørge om der var noget - tid, rum eller partikler - før Big Bang.

Big Bang er i dag stadig den bedste teori vi har til at forklare Universets udvikling!



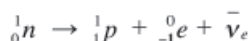
Fra de første atomer til alting!



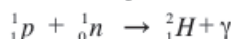
AF ANJA C. ANDERSEN

Omkring 3 minutter efter Big Bang var temperaturen faldet så meget at de letteste atomkerner kunne dannes. Det var først og fremmest atomkerner af hydrogen, helium samt en smule lithium der blev dannet. Ud af det oprindelige hydrogen og helium blev den første generation af stjerner i universet dannet.

Skabelsen af de første atomkerner:



Neutronen henfalder til en proton (H-atomkerne), en elektron og en antineutrino



En hydrogenkerne og en neutron danner en deuteriumkerne (tung hydrogen) og samtidig udsendes et gammakvant

Grundstoffer med flere end 3 protoner i atomkernen er dannet ved reaktioner mellem atomkerner i stjernernes indre. Energien i stjernerne stammer fra atomkerneprocesser i stjernernes indre, hvor noget af massen omdannes til energi!

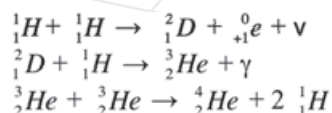
I 1905 fandt Einstein en sammenhæng mellem energi og masse.

$$E = m \times c^2$$

Energien = massen x lysets fart kvadreret

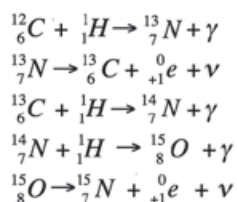
Energien stammer fra omdannelsen af hydrogen til helium. Dette kan ske på to forskellige måder. Hvilken af processerne der foregår afhænger af stjernernes masse.

Lette stjerner ($M^* < 1,5$ gange solens masse) benytter pp-reaktionen, hvor hydrogenkerner smelter sammen til heliumkerner:

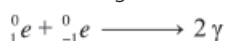


Stjerner med en masse der er mindre end 1,5 gange solens masse benytter pp-processen, hvor hydrogenkerner smelter sammen til heliumkerner. I stjerner med masser der er omkring 1,5 gange solens masse benyttes CNO-processen.

Tunge stjerner ($M^* > 1,5$ gange solens masse) benytter CNO-reaktionen hvor kulstof (C), kvælstof (N) og oxygen (O) katalyserer processen, men ikke selv forbruges:



Ved begge processer bliver fire hydrogenkerner til en heliumkerne + energi, de dannede antielektroner annihilerer når de rammer nogle almindelige elektroner:



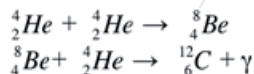
Positron + elektron $\longrightarrow$ 2 gammakvanter

Forklaringen på at en stjernes masse har betydning for hvilken af de to mulige processer der foregår er at processerne afhænger af temperaturen i stjernens indre. Jo større masse en stjerne har jo højere temperatur vil der være i stjernens centrum. Ved temperaturer i stjernens indre på under $16 \cdot 10^6$ K er det hovedsagelig pp-reaktionen der finder sted, mens det for temperaturer over $16 \cdot 10^6$ K primært er CNO-reaktionen. I Solens centrum er temperaturen ca. $15 \cdot 10^6$ K og i tungere stjerner er der varmere. CNO-processen producerer energi langt mere effektivt end pp-reaktionerne.

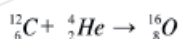
Temperaturen i solens kerne er høj nok til at hydrogen kan omdannes til helium. For stjerner der har masser over 1,2 gange solens masse kan temperaturen blive høj nok (over

100 millioner K) til at helium atomkerner kan omdannes videre til kul atomkerner ved den såkaldte triple-alfa process.

Triple alfa processen:



Noget af det nyproduceret kulstof vil blive omdannet til oxygen via:



For stjerner med masser over 1,2 gange solens masse og under et par solmasser vil stjernen ikke længere kunne producere energi via fusion og vil derfor ende som en heliumrig hvid dværg.

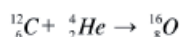
Hvis stjernens masse er under 8 gange solens masse vil stjernen efter triple alfa processen ikke længere kunne producere energi og stjernen vil ende sine dage som en kulstof-oxygen rig hvid dværg som er over 1,2 gange solens masse og under 2 gange solens masse.

I overgangen fra stjerne til hvid dværg gennemgår stjernerne en fase som rød kæmpestjerne og planetariske tåge. I de faser afstøder stjernen en del af deres masse. De tungere grundstoffer (primært er C, O og N) der er dannet i disse stjerner transporteres fra stjernen ud i det interstellare rum. Den inderste kerne af stjernen bliver til en hvid dværg. En hvid dværg er et meget kompakt objekt der kun lyser i et par milliarder år og ender som en sort dværg, en stjerne der har samme temperatur som omgivelserne.

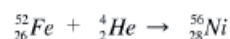
For stjerner med masser der ligger over 8 gange solens masse er temperaturen i centrum af stjernen høj nok til at der efter kul-oxygen forbrændingen i triple alfa processen kan starte en såkaldt silicium forbrænding.

Silicium forbrændingen fører gennem en lang række reaktioner til dannelse af jern og nikkel. ${}^{56}_{28}\text{Ni}$ som dannes ved processen har en halveringstid på 6,02 døgn og henfalder via beta-henfald til ${}^{56}_{27}\text{Co}$, der har en halveringstid på 77,3 døgn hvorefter det henfalder til ${}^{56}_{26}\text{Fe}$. Jernnikkelatomkerne udmærker sig ved at have den højeste bindingsenergi per atomkerne.

Processerne i stjerner med masse over 8 gange solens masse:



oxygen reager videre med en række andre atomkerner så sidste reaktion er:



Bindingsenergien er givet ved den energi der skal til for enten at frigive en kernepartikel fra atomkernen eller den energi der frigives når en ekstra kernepartikel tilføjes atomkernen. Men for jern-nikkel gruppen er atomkernen så tæt bundet at det ikke er muligt at frigive energi, det koster tværtimod energi. Stjernen er dermed endt i en situation hvor den ikke længere kan producere energi i sit indre. Som en konsekvens af dette eksploderer stjernen som en type II supernova.

Lige inden stjernen eksploderer som en supernova vil dens indre være fyldt op med de forskellige atomkerner der er blevet dannet ved at det oprindelige hydrogen er blevet omdannet først til helium og derefter videre til kul, oxygen og videre op til jern. Størstedelen af disse nydannede grundstoffer bliver ved supernova eksplosionen spredt ud i det interstellare rum.

Grundstoffer tungere end jern er dannet ved neutronindfangning, hvor en eller flere neutroner indfanges af en atomkerne. Atomkernen vil da enten blive til et nyt isotop af samme grundstof som den oprindelige atomkerne, eller beta-henfalde til et nyt grundstof. I et beta-henfald omdannes en neutron til en proton samt en positron og en neutrino. Derved vil en atomkerne med et kernetal der er en større end det oprindelige kernetal være dannet. På den måde er det muligt at opbygge grundstoffer der er tungere end jern. Neutron indfangning kan forekomme i røde kæmpestjerner samt under supernovaeksplosioner, hvor neutroner indfanges i atomkerner og danner nye, tungere kerner.

Fordelingen af grundstoffer i universet i dag minder på sin vis meget om den oprindelige fordeling efter Big Bang, idet vi har omkring 74% hydrogen, 25% helium og 1% grundstoffer tungere end helium. Det er altså kun en brøkdel af det oprindelige hydrogen fra Big Bang der i løbet af universets 13,7 milliarder år er blevet omdannet til de grundstoffer der i dag findes på Jorden. Uden denne omdannelse af grundstofferne i stjerners indre havde grundlaget for vores eksistens slet ikke været til stede.

Niels Bohrs vei til en modell for atomet



REIDUN RENSTRØM



Cambridge 1930. Baggerst: Rutherford, Ernest; Bohr, N. Forrest: Rutherford, Mary; Oliphant, Mrs; Bohr, Margrethe

Bohr som post-doc i Cambridge høsten 1911

Det var en forventningsfull ung mann som i september 1911 satt på fergen over Storebælt og skrev til sin forlovede; "Jeg reiser ud med alt mitt dumme vilde mod". Niels Bohr var på vei fra København til Cambridge for å arbeide som post-doc ved et av verdens ledende sentre for eksperimentell forskning i fysikk ledet av den berømte fysikeren Joseph Thomson. I mai 1911 hadde Bohr forsvart sin doktoravhandling, Studier over metallernes Elektrontheori, som var en kritisk analyse av andre fysikers teorier om fysiske egenskaper til metaller. Bohr hadde funnet feil i noen av teoriene, blant annet i teorien til Thomson, og han gledet seg til å diskutere disse feilene med Thomson.

Et av de første brevene Bohr skrev i Cambridge til sin bror Harald begynner slik:

"Aa Harald! Det gaar meg saa storartet...Du skulle vide hva det var for mig at tale med en saadan Mand"

Bohr forteller videre i brevet at han har snakket med Thomson og fått inntrykk av at han vil lese og lære av Bohrs avhandling. Tre uker seinere får Harald imidlertid et nytt brev, der Bohr forteller at Thomson er en svært travel mann, og hver gang Bohr får anledning til å snakke om sin kritikk av Thomsons beregninger kommer han på noe viktig han må gjøre og går. Bohr skriver om dette i det neste brevet 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. Jeg har arbejdet med dannelse af katodestråler, men der kom ikke noget ud af det".

Bohr måtte altså innse at Thomson verken var interessert i å lese avhandlingen eller diskutere Bohrs kritiske analyse av sin teori. Thomsons avvisning skyldtes også at Bohrs engelsk var svært dårlig og at avhandlingen var skrevet på et nesten uforståelig engelsk. Bohrs manglende kunnskaper i engelsk skapte også vanskeligheter for han i dagliglivet.

"En stakkels udlænding, der ikke engang kender ordene for de ting, han ikke kan finde, er virkelig dårlig stillet"

Selv om Thomson ikke fikk lest avhandlingen sendte han den til tidsskriftet Transactions of the Cambridge Philosophical Society for mulig publikasjon. Nå var det bare for Bohr å vente på komiteens avgjørelse.

Fra Cambridge til Manchester våren 1912

I november 1911 var Bohr i et selskap hos en venn av sin avdøde far. En annen gjest var Ernest Rutherford, som var kjent for sin forskning innen radioaktivitet ved Cavendish laboratorium i Manchester. I samtalen med Rutherford uttrykte Bohr at han ønsket å lære mer om radioaktivitet, og Rutherford svarte med å ønske han velkommen til Manchester. I midten av mars 1912 forlot Bohr Cambridge og reiste til Manchester, hvor han straks begynte å ta laboratoriekurs i radioaktivitet. I et brev skriver Bohr om sine forventninger til oppholdet:

“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”

I mai 1912 kom brevet Bohr spent hadde ventet på i et halvt år, avgjørelsen fra bedømmelseskomiteen i Transactions of the Cambridge Philosophical Society om hans avhandling ville bli publisert. Svaret var nedslående, i følge komiteen måtte avhandlingen kortes ned til det halve om den skulle være interessant for publikasjon! Bohr ble svært skuffet og usikker på hva han nå burde gjøre, enten prøve å imøtekomme komiteens krav eller bruke tiden på å lære mer om radioaktivitet. Tiden for post-doc perioden i England var i ferd med renne ut uten at Bohr hadde oppnådd det viktigste med oppholdet, nemlig å få avhandlingen publisert. Arbeidet han hadde utført i Cambridge og i Manchester kom det heller ikke til å bli noen publikasjoner ut av. Men så skjer det noe som får han til å legge avhandlingen til side og aldri ta den frem igjen. I begynnelsen av juni skriver han begeistret til Harald om et arbeid hans venn og kollega Charles Darwin har utført og skrevet en artikkel om. Darwin hadde beregnet hvor mye fart heliumkjerne (i α -partikler) taper når de passerer gjennom tynne folier. Grunnlaget eller modellen Darwins hadde gjort sine beregninger ut fra var Rutherfords nye kjernemodell for atomet. Sommeren 1911 hadde Rutherford foreslått at atomets positive ladning er samlet i et lite område i atomet, kalt atomets kjerne. Kjernemodellen var et resultat av eksperimenter som gikk ut på å undersøke hvordan α -partikler som passerte gjennom tynne folier endret bevegelsesretningen. Siden de lette elektronene ikke spilte noe rolle for denne avbøyningen, hadde Rutherford ikke sagt noe spesielt om elektronene i atomet. I Darwins eksperiment spiller elektronene hovedrollen for resultatet, og han valgte



Illustration: Therese Renstrøm

Bohr på vei til Thomson i Cambridge med sin avhandling i kofferten.

å anta at de kunne betraktes som frie partikler når de ble truffet av α -partiklene. Darwins resultater er avhengig av antall elektroner i atomet og atomets radius. Bohr leste at beregninger til Darwin ikke stemte helt overens med tidligere beregninger av atomenes radius, og han forsto med det samme årsaken. Elektronene er ikke frie, men bundet til kjerna og det må tas med i beregningene. Bohr skriver om denne hendelsen til Harald i juni:

“Det gaar mig ikke saa helt daarligt i Øjeblikket, jeg havde for et Par Dage siden en lille Ide med hensyn til forstaaelsen af Absorption af α – straalene . 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.



Bohr forteller Thomson at det finnes feil i hans elektronteori, men Thomson er ikke interessert i å diskutere gamle feil med Bohr

Illustration: Therese Renstrøm

En travel ung mann

Nå fikk Bohr det svært travelt. Han gikk straks i gang med å forbedre Darwins beregninger ved å anta at elektronene er elastisk bundet til kjerna. Men brevet forteller også at Bohr nå er blitt interessert i "Atomets Bygning". Rutherford hadde nøydt seg med å fastslå at elektronene er jevnt fordelt i atomet, men Bohr bestemte seg for å finne ut hvor stor energi elektronene har og hvor store atomene er. Målet var å finne en modell som kunne forklare mange av atomenes kjente egenskaper. Det første Bohr gjorde var å sette elektronene i sirkelbevegelse rundt kjerna. Men hvordan kunne ladde partikler, som påvirker hverandre med krefter, danne et stabilt system? Elektronene frastøter hverandre samtidig som de tiltrekkes av den positivt ladde kjerna. Et slikt system vil jo bryte sammen omtrent samtidig som det blir dannet, men atomer er jo i virkeligheten svært stabile. På tross av disse problemene var Bohr optimistisk, han var nemlig innstilt på at ikke alle egenskapene til atomet kunne beskrives ut fra de eksisterende teorier i fysikken. Han valgte å anta at det som karakteriserer de stabile sirkelbanene er at bevegelsesenergien til elektronene er proporsjonal med deres omløpsfrekvens (antall omløp per sekund): $E = Kf$, der E er energien til elektronet, K er en konstant og f står for omløpsfrekvensen. Ut fra denne hypotesen og klassisk mekanik var det mulig å komme frem til et uttrykk for sirkelbanens radius, elektronets bevegelsesenergi og omløpsfrekvens. Så langt kom Bohr innen dagen for avreise, 24. juli, en uke før han skulle gifte seg med Margrethe i København. Etter bryllupet reiste paret til England hvor Bohr arbeidet videre med artikkelen om absorpsjon av α -partikler, og 1. september vendte de hjem og Bohr begynte å arbeide som assistent ved Universitetet i København. Det gikk ikke så hurtig å forklare egenskaper til atomer som Bohr hadde håpet, men 31. januar 1913 skriver han til Rutherford at han innen kort vil skrive ferdig artikkelen om disse tingene og sende den til han. Bohr understreker i brevet at han ikke har vært opptatt av å prøve å forklare hva som skjer i atomet når det tilføres (absorberer) energi, for eksempel når gasser varmes opp, eller hva som skjer når atomet kvitter seg (emitterer) energi ved å sende ut lys. Helt siden midten av 1800-tallet hadde mange fysikere utforsket egenskaper ved lyset fra atomer. Det mest interessante resultatet var at det emitterte lyset består av et sett med frekvenser, som dukker opp som enkelt linjer i et spekter og som er karakteristisk for det enkelte atomet. Figuren under viser fargelinjene i spekteret fra hydrogenatomet.



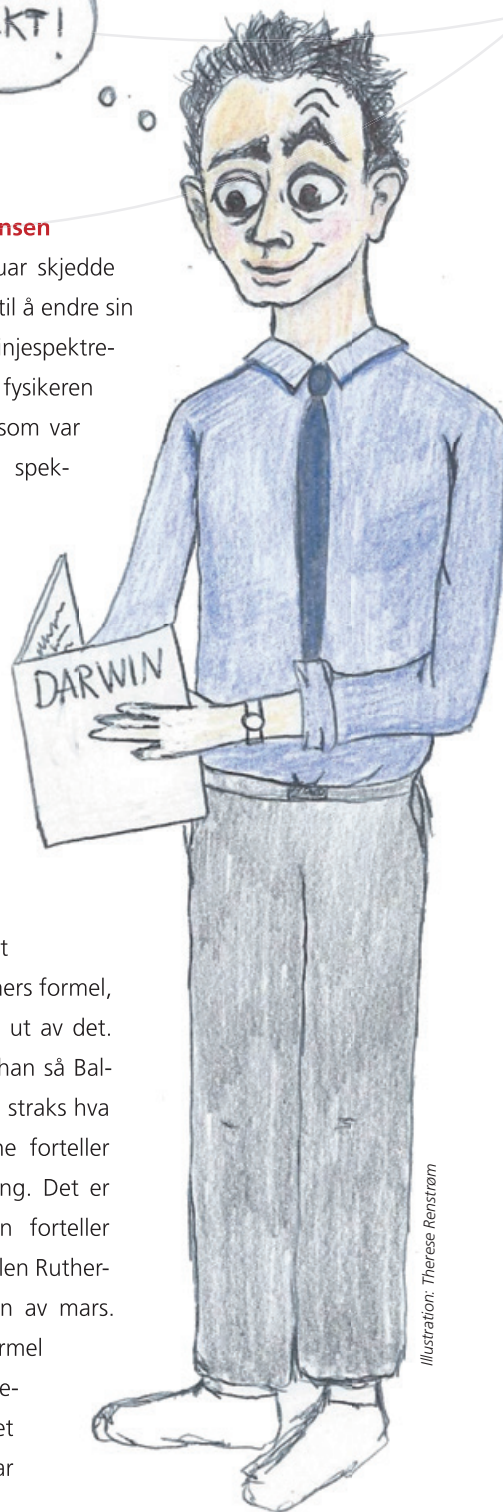
Linjespekteret

Men Bohr var altså ikke opptatt av å prøve å forklare denne egenskapen til atomene, fordi han ikke trodde linjene i spektrere hadde noe å fortelle om atomets oppbygning.

Bohr møter H. M. Hansen

I begynnelsen av februar skjedde det noe som fikk Bohr til å endre sin oppfatning angående linjespektrere. Han fikk besøk av fysikeren Hans Marius Hansen, som var ekspert på atomenes spektrere. I samtalen spurte Hansen om Bohrs beregninger stemte overens med Balmer's formel for frekvensene til fargene i spekteret fra hydrogen. Bohr, som ikke hadde vært opptatt av spektrere, måtte innrømme at han ikke kjente til Balmer's formel, men han lovet å finne ut av det. Bohr har fortalt at da han så Balmer's formel forsto han straks hva linjene i atomspektrere forteller om atomets oppbygning. Det er denne forståelsen han forteller om i brevet og i artikkelen Rutherford fikk i begynnelsen av mars. Da Bohr så Balmer's formel for frekvensene i spekteret til hydrogen, slo det han at det kanskje var

IKKE
KORREKT!



mulig å utlede denne formel ut fra hans hypotese; at elektronets kinetiske energi er $E = Kf$. Men det krevde at han innførte flere baner med energi $E = nKf$, der $n = 1, 2, 3, 4, 5..$ som for eksempel gir at bane nummer tre har energi $3Kf$. Bohr utledet et uttrykk for energidifferansen mellom banene i hydrogenatomet og ved å dividere denne energien energidifferansen med en konstant h , kalt Plancks konstant fikk han en formel for frekvensene til linjene. Det viste seg at denne formelen var helt lik Balmers formel når konstanten K ble satt lik $\frac{1}{2} h$. Bohr hadde oppdaget frekvensene til linjene er gitt ved energidifferansen mellom elektronbanene dividert med en konstant. Artikkelen Bohr sendte til Rutherford 6. mars 1913 handlet nesten bare om atomenes linjespektra, spesielt spekteret til hydrogen. Rutherford må ha blitt svært overrasket da han leste Bohrs artikkel. Bohr hadde jo flere ganger sagt at han ikke var interessert i å forklare mekanismen bak atomenes utsendelse av lys. Men det var før Hansen kom på besøk og gjorde han oppmerksom på Balmers formel.

For noen fysikere var det utenkelig at Bohrs forklaring på atomenes linjespekter kunne være riktig. I en af fysikkens store teorier, Maxwells teori for lys, forklares opprinnelsen til lys (elektromagnetisk stråling) ved at ladde partikler vibrerer og sender ut stråling den samme frekvens som de selv vibrerer med. Stråling fra atomet skulle derfor komme fra elektronenes vibrasjoner, men Bohrs idè innebar at strålingen fra atomene har en helt annen forklaring. Blant fysikerne som ganske tidlig trodde at Bohrs forklaring er riktig 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.

Bohr utleder Balmers formel ved å innføre flere sirkelbaner i hydrogenatomet.



Illustration: Therese Renstrøm



Niels Bohr - en biografi

AF FINN AASERUD

Niels Bohr (1885 - 1962) var søn af Christian Bohr (professor i fysiologi ved Københavns Universitet) og Ellen Bohr (f. Adler, datter af en kendt københavnsk finansmand). Bohr havde en ældre søster, Jenny, og en yngre bror, Harald, der blev en internationalt kendt matematiker. I 1912 giftede han sig med Margrethe Nørlund (1890 - 1984), som blev en uvurderlig støtte for ham hele livet igennem.

Niels Bohr tog doktorgraden i fysik ved Københavns Universitet i 1911. Emnet for Bohrs doktorafhandling var "Metalernes Elektrontheori". Da han samme år fik et stipendium fra Carlsbergfondet til en studierejse i udlandet, valgte han at tage til Cambridge for at læse under J. J. Thomson, der var kendt for at have opdaget elektronen. Mens Bohr var i Cambridge, blev han inviteret til Manchester af Ernest Rutherford for at fortsætte sine studier der. Blot et år tidligere havde Rutherford og hans medarbejdere opdaget, at atomet bestod af en positivt ladet kerne, der indeholdt næsten hele atomets masse og negativt ladede elektroner, der kredsede omkring kernen i relativt stor afstand. Det blev grundlaget for Bohrs gennembrud som fysiker, da han indså, at et sådant system ville være ustabil ifølge den klassiske fysik, og at en ny forklaring var påkrævet.

Da Bohr vendte tilbage til København, gjorde fysikeren H.M. Hansen ham opmærksom på Balmer's formel i eksperimentel spektroskopi, der beskrev spektret for brintatomet. Formlen var empirisk udledt, dvs. at den var opstillet fra målinger uden at kunne forklares teoretisk. Ved anvendelse af virkningskvantet, der blev lanceret af Max Planck i 1900, postulerede Bohr i direkte modsætning til den klassiske fysik, at elektronerne alene kunne bevæge sig i helt bestemte baner, og at de frigav eller absorberede elektromagnetisk stråling, når de flyttede sig fra en bane til en anden. Det viste sig, at Bohrs teori nøjagtigt forudsagde Balmer's formel samt resultatet af andre eksperimenter. I 1913 publicerede Bohr sin teori i tre afhandlinger under titlen "On the Constitution of Atoms and

Molecules". I løbet af det næste årti videreudviklede Bohr og andre teorien, der foruden at forklare Grundstoffernes Periodesystem, forudsagde nye eksperimentelle resultater og gradvist blev accepteret af de fleste fysikere.

I efteråret 1922 blev det bekendtgjort, at Bohr ville modtage årets Nobelpris for sit arbejde. Det var et dramatisk vendepunkt for Nobelinstitutionen, der hidtil havde prioriteret fremskridt indenfor instrumentering og stærkt betvivlet den nye kvanteteori.

Kvantemekanikken blev formuleret midt i 1920'erne og med den ændrede forståelsen af fysik sig radikalt. Ændringen gav anledning til store diskussioner om forståelsen af fysik, men efterhånden nærmede Københavnerfysikerne sig hinanden, så der blev en almen accept af, at man kan opfatte et fysisk fænomen på to forskellige måder, afhængig af forsøgsopstillingen. I én forsøgsopstilling er en elektron en partikel og i en anden en bølge! Ifølge Bohr var dette et udtryk for komplementaritet. Begge forestillinger er nødvendige og det giver ingen mening at spørge, om en elektron er en bølge eller en partikel. Svaret afhænger af, hvordan vi udfører forsøget. Bohr fremførte første gang dette radikale synspunkt, der senere fik navnet "Københavnertolkningen", ved en konference i Como, Italien, i sensommeren 1927. Dette bragte Bohr og den anden store fysiker i det tyvende århundrede, Albert Einstein, i et modsætningsforhold. Einstein kunne ikke godtage en fysikteori, der opgav eksempelvis klassisk kausalitet (årsagssammenhæng). Bohrs diskussion med Einstein, især ved de berømte Solvay-konferencer i Bruxelles i 1927 og 1930, rummer nogle af de mest intense og dybe meningsudvekslinger om fysikken og dens filosofi i det tyvende århundrede. Igen og igen præsenterede Einstein tankeeksperimenter, som modbeviste Københavnerfortolkningen, og hver gang sov Bohr på problemet og kunne den følgende dag modsige Einsteins indsigelser. Bohr publicerede en beretning om denne diskussion i en bog, der blev udgivet som en hyldest til Einstein på hans 70-års dag i 1949.

Tidligt i 1930'erne indså Niels Bohr, at de mest spændende udfordringer i teoretisk fysik ikke længere drejede sig om elektronbevægelsen omkring atomkernen, men om selve kernen. Ikke alene ændrede han prioriteterne for sit institut, men også for sin egen forskning så publikationerne tog en ny drejning. I 1936 formulerede Bohr sin revolutionerende "compoundkerne-model", ifølge hvilken kernen under en reaktion overgår til en midlertidig ustabil "compound" tilstand, før den vender tilbage til en stabil tilstand, når reaktionen er overstået. I 1937 formulerede Bohr, sammen med sin unge danske medarbejder Fritz Kalckar, væskedråbemodellen for atomkernen og fremhævede derved yderligere forskellen imellem atomkernens struktur og et atom, hvor kernens struktur ikke tages i betragtning.

I december 1938 kunne Lise Meitner og hendes nevø Otto Robert Frisch, på baggrund af Bohrs teorier, forklare eksperimenter udført af Otto Hahn og Fritz Strassmann i Berlin. Deres tolkning af eksperimenterne var, at en atomkerne var blevet delt i to næsten lige store dele - en meget vidtgående hypotese på den tid, som snart fik navnet "fission", som betyder spaltning ("fusion" betyder sammensmeltning). Dette satte hæsblæsende forskningsaktivitet i gang på begge sider af Atlanten. Ikke mindst udarbejdede Bohr - sammen med John Wheeler, en yngre kollega og tidligere gæsteforsker på Blegdamsvej - under et længere besøg i Princeton en detaljeret teoretiske forklaring af fissionen.

Skønt Niels Bohr i sidste halvdel af trediverne var en af hovedbidragsyderne til den nye kernefysik, mente han ikke, at det ville være muligt at udvikle en atombombe i en nær fremtid. På det grundlag afslog han en hemmelig opfordring

til at flytte til England i begyndelsen af 1943, men da han i oktober samme år blev tvunget til at flygte fra det tysk-besatte Danmark til det neutrale Sverige, tog han imod indbydelsen og blev bragt til England.

I England fik Niels Bohr oplysninger, der umiddelbart overbeviste ham om, at atombomben kunne blive en realitet i Amerika. Samtidigt med, at han gik med til at deltage i projektet, startede han på eget initiativ en kampagne for at overbevise britiske og amerikanske statsledere om, at Sovjetunionen skulle informeres om projektets eksistens inden krigens udgang, for at undgå at den indbyrdes fortrolighed skulle gå tabt, hvilket kunne medføre et våbenkapløb efter krigen. Med ustopkelig målbevidsthed opnåede Bohr at få personlige samtaler om sagen med både den engelske premierminister Churchill og den amerikanske præsident Roosevelt. Selv om specielt præsident Roosevelt syntes meget interesseret, gik samtalen med Churchill helt galt, så initiativet løb ud i sandet. Faktisk var Bohr lige ved at blive arresteret for spionage!

Efter krigen fortsatte Bohr sin kampagne for en åben verden, hvor alle videnskabelige og tekniske oplysninger skulle deles mellem nationerne for at undgå ubegrundet mistænksomhed og skæbnesvangre misforståelser. I 1948 havde han omfattende samtaler og brevveksling med den amerikanske udenrigssekretær George Marshall, og i 1950 skrev han et åbent brev til de Forenede Nationer, hvori han offentliggjorde sine tidligere bestræbelser, som hidtil havde været holdt i fortrolighed med statsmændene. Bohrs mangfoldige bestræbelser for at opnå en åben verden forblev den vigtigste sag for ham, indtil han døde i 1962.



Auditorium A 1930. Første række: Klein Oskar Benjamin; Bohr, N.; Heisenberg, Werner Karl; Pauli, Wolfgang; Gamow, George; Landau, Lev Davidovich; Kramers, Hendrik Anton. Anden række: Waller, Ivar; Hein, Piet; Peierls, Rudolf Ernst; Heitler, Walter; Bloch, Felix; Ehrenfest, Tanja; Colby, Walter Francis; Teller, Edward (third row) Rice, Oscar; Wintner, Aurel; Møller, Christian;

Hur Niels Bohr fick sitt Nobelpris i fysik



AF ANDERS BÅRÅNY

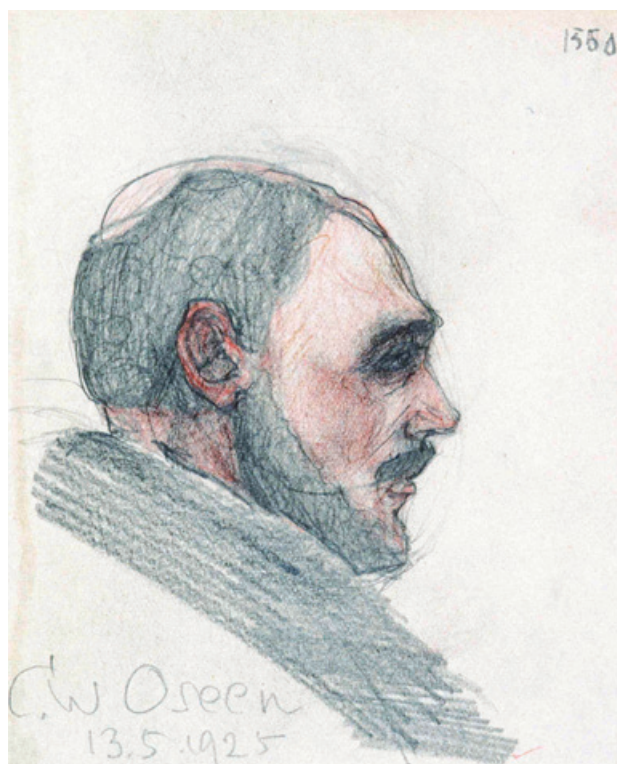
Den 9 november 1922 beslöt Kungliga Vetenskapsakademien i Stockholm, som punkt 4 på sin dagordning, att Niels Bohr skulle tilldelas 1922 års Nobelpris i fysik med motiveringen "för hans förtjänster om utforskandet av atomernas struktur och den från dem utgående strålningen". För världens fysiker var det ingen stor överraskning att Bohr, efter sina tre banbrytande artiklar 1913 och den utomordentligt viktiga roll han spelat inom den framväxande kvantfysiken sedan dess, skulle belönas med ett Nobelpris. Överraskningen var att Vetenskapsakademien vid samma sammanträde, som punkt 3 på dagordningen, beslöt att Albert Einstein skulle tilldelas 1921 års ej utdelade Nobelpris i fysik med motiveringen "för hans förtjänster om den teoretiska fysiken, särskilt hans upptäckt av lagen för den fotoelektriska effekten". Denna "lag" är, precis som Bohrs atomteorier,

en kvantfysikalisk teori, vilken Einstein hade utvecklat redan 1905. Så de två Nobelprisen i fysik 1921 och 1922 är mycket tätt sammanvävda. Hur det kom sig, och hur även 1923 års pris bör räknas in, skall jag berätta nedan, men först några ord om Alfred Nobel och Nobelpriset i fysik.

Det var vid ett skrivbord på den Svensk-Norska Klubben i Paris, den 27 november 1895, som den 62-årige sprängämnesexperten, ingenjör Alfred Nobel, undertecknade sitt testamente. I testamentet hade han skrivit att ett av de fem pris han ville instifta, skulle tilldelas den som gjort den viktigaste upptäckt eller uppfinning inom fysiken. När Nobel dog året därpå var hans förmögenhet cirka 2 000 MSEK (i dagens penningvärde). Eftersom avkastningen på denna stora förmögenhet skulle användas till de fem prisen kunde



Allvar Gullstrand



Carl Wilhelm Oseen

man förvänta sig stora prissummor. Mycket riktigt, när de första Nobelprisen delades ut 1901 fick fysikern Wilhelm Conrad Röntgen cirka 8 MSEK (i dagens penningvärde) för sin upptäckt av de strålar som vi nu kallar röntgenstrålar. Detta applåderades över hela världen och vi vet nu att upptäckten verkligen var viktig, både för oss människor och för fysikens utveckling.

Men när 1918 års fysikpris tilldelades en forskare som "bara" hade kommit på en teori, kvantfysikern Max Planck, hördes röster som ansåg att detta inte var i Alfred Nobels anda. Istället ansåg många att Nobel hellre hade sett sina pengar gå till mer tekniskt tillämpade uppfinningar. Men tittar man lite närmare på Alfred Nobels liv finner man att han faktiskt intresserade sig för många grundvetenskapliga frågor. Till exempel kan man se, att han i en av sina böcker skrivit i marginalen och undrat, om atomer i levande kroppar är levande och atomer i döda kroppar döda. Så personligen tror jag nog att Alfred Nobel skulle ha varit ganska nöjd med prisen till teoretikerna Planck, Einstein och Bohr, liksom med många av de senare prisen till teoretiska fysiker!

I Alfred Nobels testamente står att Vetenskapsakademien skall utse pristagare i fysik (och i kemi). Enkelt uttryckt går det till på följande sätt: En Nobelkommitté på fem personer

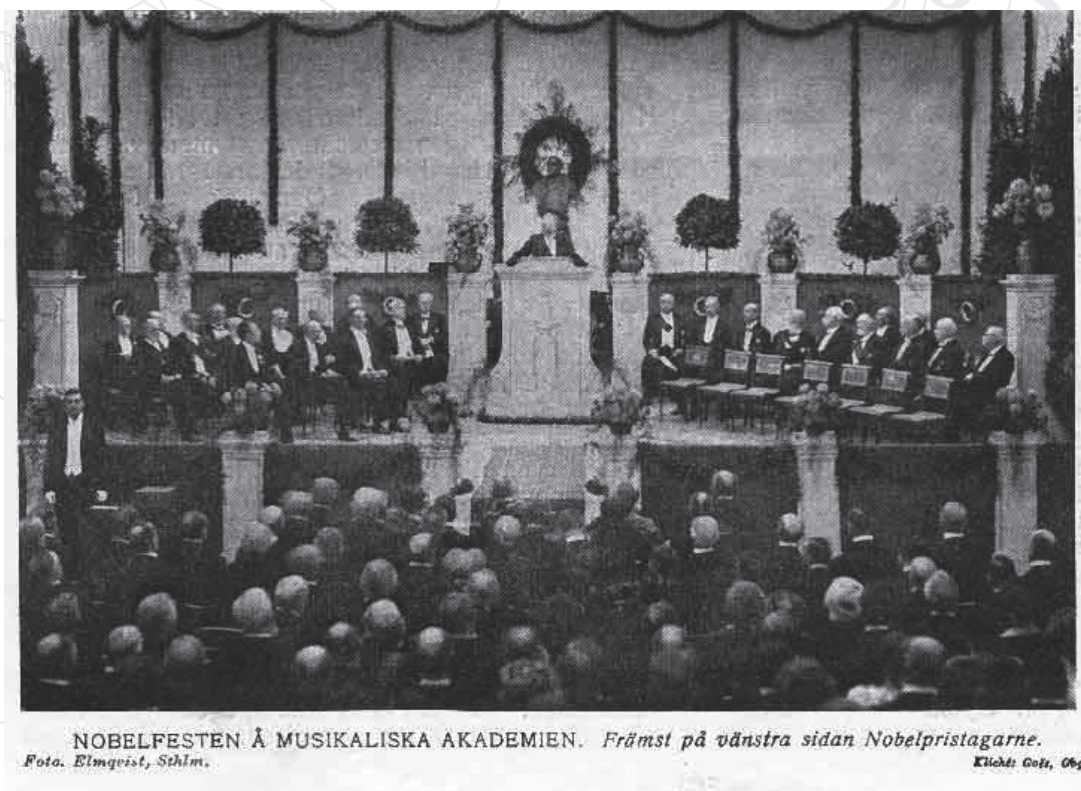
förbereder ett förslag som sedan diskuteras av alla akademiens fysiker, i dag cirka 40 personer. Dessa kan inte ändra på kommitténs förslag, men kan lägga fram sitt eget. Därefter diskuteras förslaget/förslagen av hela akademien, i dag cirka 350 personer, och man röstar fram pristagaren (eller pristagarna) på förmiddagen samma dag som priset offentliggörs. Nobelkommittén tar hjälp av fysiker över hela världen genom att be om förslag på kandidater till priset och nu kommer det varje år in förslag på flera hundra namn. Men när Planck, Einstein och Bohr fick sina Nobelpris var allt, utom Nobelkommitténs storlek, mycket mindre. Även den summa pengar pristagarna fick var mindre, "bara" cirka 3 MSEK (i dagens penningvärde). I dag är priset återigen ungefär lika stort som 1901.

Niels Bohr föreslogs till Nobelpris i fysik för första gången 1917. Motiveringen var hans arbeten över atomernas inre struktur. Även åren därefter föreslogs Bohr till Nobelpris av en handfull fysiker. Några ville att han skulle dela priset med Planck, andra att han skulle belönas ensam. Bland de senare fanns Nobelpristagaren Ernest Rutherford, den som upptäckt atomkärnan och därmed banat väg för Bohrs modell av atomen som ett planetsystem. Att det kom så få förslag var antagligen ett resultat av efterdyningarna av första världskriget. Men 1922 fullkomligt exploderade antalet förslag och Bohr fick hela 11 stycken, därav inte mindre än 5 från Nobelpristagare: Lawrence Bragg, Max von Laue, Max Planck, Wilhelm Conrad Röntgen och Ernest Rutherford. Albert Einstein föreslogs visserligen av fler fysiker, men bara av två Nobelpristagare. Det var von Laue och Planck som föreslog att Einstein och Bohr skulle få varsitt av 1921 och 1922 års pris.

Oftast avgörs de viktiga besluten redan i Nobelkommittén och i diskussionerna där brukar vissa speciella personer spela en avgörande roll. I fysikkommittén satt under många år en ögonläkare som också var en skicklig matematiker. Han hette Allvar Gullstrand och år 1911 hade han blivit Sveriges förste Nobelpristagare i fysiologi eller medicin (som priset heter). Han var en person med mycket bestämda åsikter och ville gärna driva sin vilja igenom och ha sista ordet. Ibland var detta bra och ibland dåligt. Bra var det när han drev igenom att den bara 25-årige Lawrence Bragg skulle få vara med och dela på 1915 års fysikpris med sin pappa för att de hade studerat kristallers struktur med röntgenstrålar. Det priset hade man först tänkt ge bara till pappan. Dåligt var det när Gullstrand i många år hindrade Albert Einstein från att få pris för den revolutionerande allmänna relativitetsteorin från



NOBELPRISTAGAREN NIELS BOHR med fru, fotograferad efter ankomsten till Stockholm för bevisande av Nobel festen. Text å sid. 184. — Foto, Bildcentralen. — Bild: Oze, Öp.



1916 (Gullstrand ansåg att relativitetsteorin var felaktig). När vi kommer till början av 1920-talet utbryter ett maktspel mellan den väl etablerade Gullstrand och en yngre utmanare, den teoretiske fysikern Carl Wilhelm Oseen. Man kan likna maktspelet vid ett parti schack och dessa två herrar hade faktiskt också spelat schack några gånger på riktigt. Först vann alltid Gullstrand och då var han nöjd. Men en gång lyckades Oseen vinna och sedan dess ville Gullstrand inte spela mer. Som vi skall se vann utmanaren Oseen även i Nobelkommittén, även om Gullstrand på ett ojuste sätt försökte få sista ordet.

Carl Wilhelm Oseen var en stor beundrare av både Albert Einstein och Niels Bohr och ansåg att båda borde få Nobelpris i fysik. När Oseen kom till Vetenskapsakademien insåg han att Gullstrand var den som i flera år hindrat Einstein från att få pris för relativitetsteorin. Oseens snilledrag var att dels föreslå att man skulle ge Einstein pris för något annat, nämligen teorin för fotoeffekten, dels påstå att denna teori är en "lag" som fungerat som grundsten för Bohrs atomteori. Oseen fick i uppdrag att skriva utredningar om båda dessa teorier inför 1922 års beslut. Det blev en utredning om "Einsteins lag för den fotoelektriska effekten" och en om "Den Bohrska atomteorien". I dessa utredningar väver han ihop Einstein och Bohr, bland annat genom att kalla relationen

$$E_1 - E_2 = h\nu$$

för "det Einstein-Bohrska villkoret". Båda utredningarna slutar med rekommendationer att belöna Einstein och Bohr med Nobelpris i fysik och på hösten 1922 var det Oseens förslag som vann i Vetenskapsakademien.

Det kan vara av intresse att se vad som skrevs om Bohr, dels i Oseens utredning, dels i den skrivelse där Nobelkommittén föreslår att Akademien utser Bohr till pristagare. Oseen skriver bland annat följande fina karakteristik av Bohrs insats:

"Den teori, som nu bär Bohrs namn, är icke helt och hållet Bohrs verk. Till den ha bidrag givits av en hel generation av forskare: Ehrenfest, Sommerfeld, Schwarzschild, Kossel för att nämna några namn. Likväl är det med rätta, som teorien bär Bohrs namn. Mer och mer har åt honom tillerkänts rätten att avgöra, vad som på detta område skall anses sannt eller icke sannt. Om han finner en främmande tanke värdig att införlivas med atomteorien, så underkastar han den likväl oftast en genomgripande omdaning, innan den upptages i teorien. I denna mening kan det sägas, att Bohrs atomteori är hans och ingen annans."

Nobelkommittén skriver:

”Kommitterade anser, att Bohrs atomteori, såväl med hänsyn till redan säkerställda resultat som till den mäktiga impuls, som denna teori givit både den experimentella och den teoretiska forskningen, till fullo förtjänar ett Nobelpris.”

Exakt hur Gullstrand svarade på Oseens utmaning det året vet vi inte. Men det är mycket troligt att han krävde att en av hans favoritkandidater skulle föras fram till pristagare 1923. Gullstrands kandidat var den amerikanske experimentalfysikern Robert Andrews Millikan, vilken i dag är mest känd för sina mätningar på elektriskt laddade oljedroppar, mätningar ur vilka man kan räkna fram elektronens laddning. Men Millikan hade också gjort en lång serie mätningar av den fotoelektriska effekten och fått perfekt överensstämmelse med Einsteins formel. Och det blev som Gullstrand ville, 1923 blev det Millikans tur och prismotiveringen lyder ”för hans arbeten rörande den elektriska enhetsladdningen samt den fotoelektriska effekten”.

Det är nu som Gullstrand ser sin chans att få sista ordet gentemot teoretikern Oseen. Gullstrand har valts till ordförande i Nobelkommittén och där skriver han, att om Millikans mätningar hade gett annat resultat skulle varken Planck eller Einstein fått Nobelpris. Även vid den högtidliga prisceremonin den 10 december 1923 kan inte Gullstrand låta bli att argumentera på samma sätt. I presentationstalet för Millikan säger han bland annat

”... därest Millikans hithörande undersökningar givit annat resultat, den Einstein'ska lagen hade varit utan värde och den Bohr'ska atomteorien utan fäste...”

Under alla mina år som sekreterare i Nobelkommittén för fysik, som intendent på Nobelmuseet och som ledamot i Vetenskapsakademien, har jag aldrig sett ett så fult försök att ta heder och ära av den teoretiska fysiken. Vi vet ju nu att om Millikans mätningar gett annat resultat hade det berott på fel i hans experimentella metod, inte på Plancks, Einsteins och Bohrs vackra teorier!

Litteraturhänvisningar

1. Finn Aaserud om priset till Niels Bohr, i ”Nabo til Nobel”, redigeret af Henry Nielsen och Keld Nielsen, Aarhus Universitetsforlag 2001.
2. ”Einstein's Nobel Prize”, av Aant Elzinga, SHP/USA 2006.



Nobelporträttet av Niels Bohr.

Kvantfysik i vardagen



AF ANN-MARIE PENDRILL

Ljuset: Våg och partikel.

Brasan slocknar. Sakta svalnar glöden och ändrar färg från brandgult till allt mörkare rött, mot allt längre våglängder och allt lägre frekvenser. Hur hänger frekvenserna på strålningen ihop med temperaturen? Det var ett av de problem som ledde fram till kvantfysik. Max Planck behövde införa små kvanta för strålningsenergi i sin teoretiska beskrivning. Ljuset som har våglängd och frekvens visar sig också ha egenskaper som en partikel: Ljus kan bara skickas ut eller tas emot i "paket" som kallas fotoner och har energin $E = h f$, där h kallas Plancks konstant.

Ett vardagsexempel på ljusets kvantisering är solbränna: När vi blir solbrända är det för att vår hud tagit emot ljus från solen. Ljuset leder till en kemisk reaktion i huden som bl.a. leder till produktion av pigmentet melanin. Energin måste komma i tillräckligt stora kvanta för att ge en reaktion. Av det synliga ljuset har rött ljus längst våglängd och violett kortast. UV-strålning har kortare våglängder än synligt ljus och därför har UV-fotonerna ännu mer energi. Har du tänkt på vad som krävs för att bli solbränd? Du kan bli solbränd under en strandpromenad eller skidtur en frostgnistrande vinterdag - men inte inomhus en varm sommardag. Hur kan det vara så? Även om mycket energi strålar in från solen i det varma rummet så räcker det inte: De fotoner som kommer igenom glaset har för lång våglängd och för lite energi för att melanin ska kunna bildas.

Ett annat exempel på att ljusets färg och våglängd spelar roll är fotosyntesen. En grön växt i ett mörkt rum skjuter bleka skott. Under en korg på gräsmattan blir gräset gult: Även med värme och vatten saknas fotoner med tillräckligt hög energi - kort våglängd - för fotosyntes. På liknande sätt hänger ögats färgseende ihop med att tapparna är känsliga för ljus med olika våglängder. När man arbetade i mörkrum för att framkalla film var det vanligt att ha en röd lampa som inte skadade filmen. Kan du lista ut varför?

Kvantvärlden

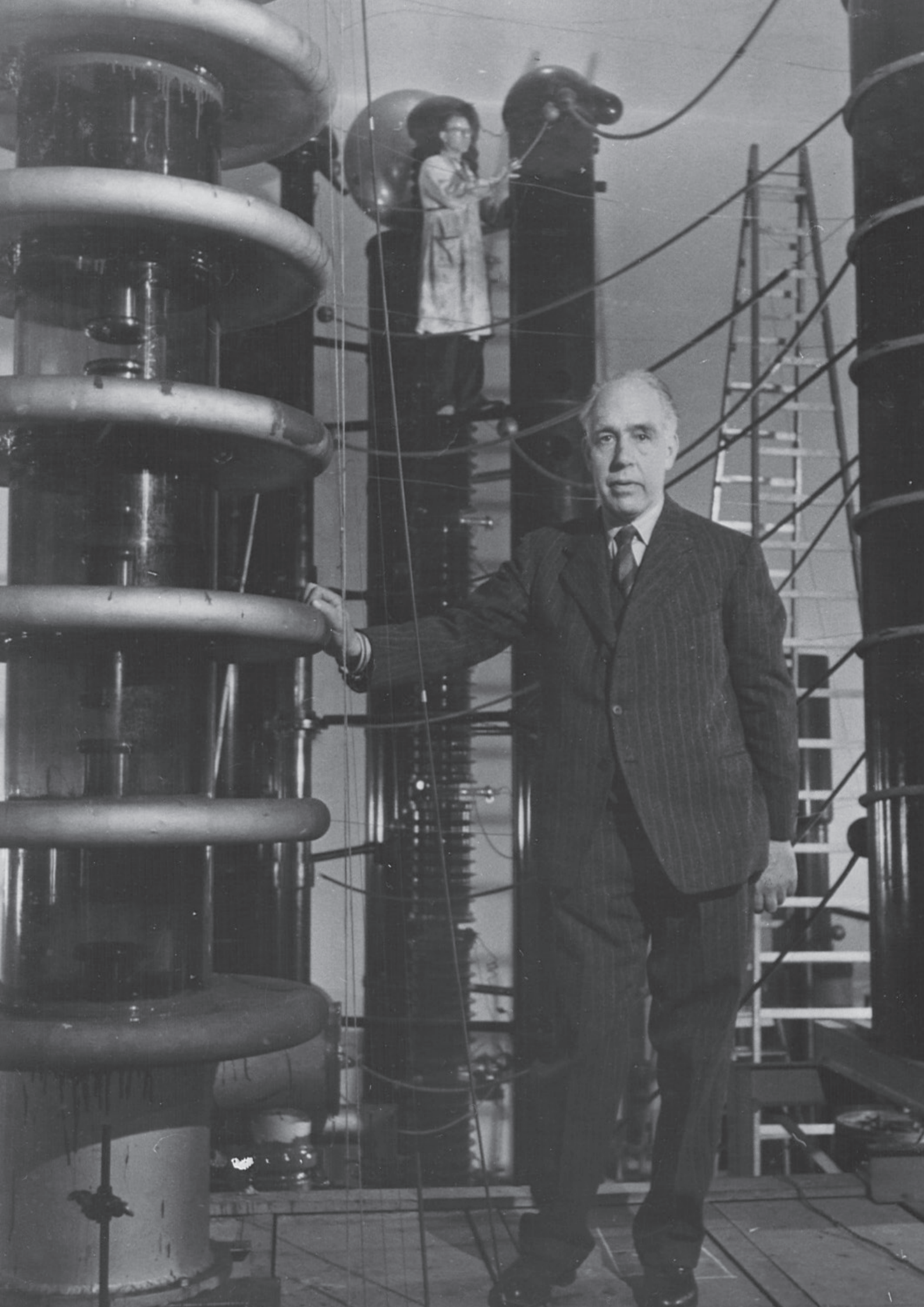
Kvantfysik handlar om ljus och om materiens minsta delar, om partiklar och deras växelverkan. Kvantvärlden är liten: Atomer är så små att vi inte kan se dem med synligt ljus. Det ryms några tusen atomer intill varandra på en enda ljusvåglängd! Om vi skulle förstora en atom så att den blev stor som ett äpple så skulle ett äpple bli lika stort som jorden.

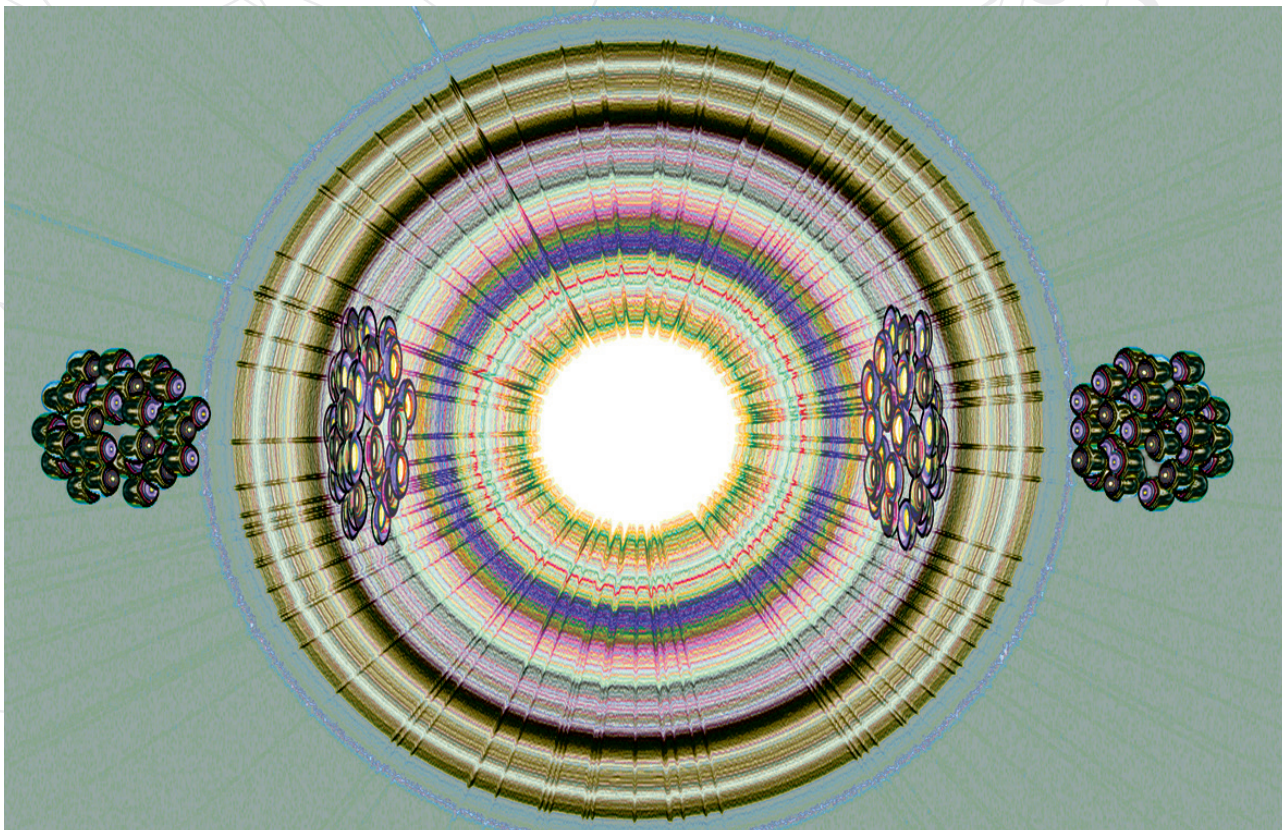
Atomen är också väldigt tom. Rutherford upptäckte 1911 att nästan all massan hos en atom finns i en väldigt liten kärna. Atomen skulle då kunna vara som en litet solsystem i miniatyr, med kärnan som en väldigt liten sol. Men det underliga är att elektronen inte rör sig i en planetbana. Den lilla ensamma elektronen i en väteatom blir i stället ett suddigt moln som uppfyller ett klot runt "solen". Det klotet skulle räcka långt utanför "Neptunus" bana.

Elektronmolnen i en atom kan ha olika former som har olika hög energi, men bara vissa energier är tillåtna. Man säger att energin är kvantiserad. Om en atom går från en högre energinivå till en lägre blir det energi över. Den skickar atomen ut som ljus i form av en foton med en viss frekvens: energiskillnaden delad med Plancks konstant. En atom kan också fånga en foton och gå från ett lägre tillstånd till ett högre.

Spektrum

Eftersom atomernas energier är kvantiserade det finns bara vissa frekvenser och färger som är möjliga. Varje atom har sina egna möjliga färger. Neon har - just det - neonfärger. Natriumlampornas brandgula ljus kommer förstås från den viktigaste övergången i natrium. Samma färg kan du se om du kastar lite vanligt bordssalt i en ljuslåga (du kommer väl ihåg att salt är natriumklorid?) De olika färgerna hos fyrverkerier beror på vilka ämnen de innehåller.

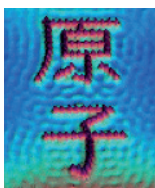




Kvantrisk sammenfiltrethed teleportation mellem foton og atom Kunstnerisk fortolkning af Mette Høst

Med en CD-skiva kan du se hur ljuset från solen delas upp i regnbågens alla färger. För att undersöka ljus noggrannare kan du själv bygga ett spektroskop med hjälp av en CD-skiva. I ett spektroskop blir en atoms olika färger till en unik streckkod. Prova spektroskopet med ljus från olika ljuskällor!

Atomer, kvantfysik och vardagsteknik



I den lilla kvantvärlden blir partiklar till vågor. Ett sveptunnelmikroskop utnyttjar att elektroner är vågor, med kort-kort våglängd. Då kan man också "se" det som är mycket litet, som atomer. Bilden visar det japanska tecknet för atom skrivet med

järnatomer på en kopparyta. Varje liten prick är en atom! Den teknik som används för att placera atomer på en yta ligger till grund för nanoteknik. Den kan också användas för att skapa de miniatyrkretsar som sitter i din mobiltelefon och dator. (Nano betyder dvärg!)

Har du tänkt på att teknik som bygger på kvantfysiken ligger bakom så många olika saker i din vardag? Solceller, lasern i din cd-spelare eller affärens streckodsläsare, transistorer, som blivit allt mindre och finns i tusentals i mikrochips, i leksaker, i din klocka, MP3-spelare, telefon, dator och så mycket annat som vi tar för givet.

Med kvantfysik kan man också bygga instrument som låter oss titta allt längre in i det minsta och allt längre ut i universum. Med kvantfysik kan man tolka ljuset från stjärnor långt bort, och få veta hur varma stjärnorna är, vilka atomer som finns där, hur fort de rör sig bort från oss - och om de har planeter där det kanske skulle kunna finnas liv.



Aud. A 1922:

Hansen, Hans Marius; Bohr, N.; Kramers, Hendrik Anton; Rosseland, Svein; Ehrenfest, Paul

Niels Bohr



AF HALDOR TOPSØE

Med denne artikel vil jeg gøre rede for situationen omkring Niels Bohr og hans institut i begyndelsen af 20'erne og for den mulighed jeg, som student, fik for at deltage i undervisningen og samarbejdet på Niels Bohr Institutet i begyndelsen af 30'erne.

Desuden vil jeg skrive et par ord om, hvad Niels Bohr har betydet for vores virksomhed og for mig personligt specielt i årene fra 1939, da anden verdenskrig brød ud, til 1962 hvor Niels Bohr døde. Det illustrerer også hvilken betydning Niels Bohr den dag i dag har for vores måde at tænke på i virksomheden.

I årene indtil 1913 da Niels Bohr fremsatte sin berømte teori om brintatoms opbygning - et arbejde der i 1922 indbragte ham Nobelprisen - var der blandt fysikere, specielt dem man i dag ville kalde atomfysikere, stor uenighed om, hvorledes man skulle forklare de fænomener man havde konstateret i forbindelse med atomets udstråling. Efter den klassiske Maxwell-teori kunne et atom, og man beskæftigede sig især med brintatomet, ikke udsende stråling uden at atomet så at sige faldt sammen. Men kendsgerningen var jo, at når et brintatom havde fået tilført energi, så afgav det denne energi ved stråling, der var sammensat på diskrete energiniveauer, uden at den negativt ladede elektron og den positivt ladede kerne nærmede sig hinanden. Dette var ifølge den gængse Maxwell teori ikke muligt. Niels Bohrs fortjeneste var, at han postulerede og fastholdt postulatet om, at der fandtes visse tilstande, hvor brintatomet elektroner kunne bestå. Niels Bohr erkendte at Maxwell teorien fandtes, men den gjaldt ikke i atomernes mikroverden. Der var altså for brintatomet og formentligt for andre atomer et antal tilstande, hvori de kunne bestå uden at udsende energi. Niels Bohr postulerede også, at der kunne være tale om, at man under visse omstændigheder kunne fremkalde situationer, hvor et brintatom gik fra en stationær tilstand til en anden og at dette spring medførte udsendelse af stråling i bølgelængder svarende til differensen i energi mellem de to stationære tilstande.

Niels Bohrs teorier blev efterhånden accepteret af fysikere rundt omkring i verden. Institutet for Teoretisk Fysik (det institut under Københavns Universitet, som nu kaldes Niels Bohr Institutet) blev hjemsted for et stort antal fysikere, der fra udlandet kom til København for at deltage i forskning indenfor disse spændende nye områder. De kom ikke mindst for at arbejde på at forklare sammenhængen mellem forskellige nye erkendelser.

Da jeg i 1931 havde fået studentereksamen ønskede jeg at følge arbejdet på Niels Bohrs Institut, og håbede, at jeg kunne deltage i Københavnerskolens aktiviteter og måske kombinere arbejdet indenfor teoretisk fysik med arbejdet indenfor kemi. Det var forholdsvis let at følge arbejdet både på Niels Bohrs Institut og på Brøndstedts Institut, hvor der foregik spændende arbejder indenfor hvad man kunne kalde teoretisk kemi.

Af private grunde var det ikke muligt for mig at sige ja til en stilling, hvor jeg skulle arbejde med teoretisk fysik. Efter nogle års arbejde i industrien kom krigen, som førte til at jeg den 10. april 1940 sammen med nogle ligesindede - der havde interesse i samspillet mellem teoretisk fysik og teoretisk kemi - startede et firma, som i dag eksisterer som et forsknings- og udviklingsfirma, der arbejder med katalyse. Katalyse, erkendte vi, var et område, hvor man kunne kombinere interesser og viden indenfor fysik og kemi samt bruge denne viden til at opbygge et firma, som fokuserede på forskningen indenfor fundamentale områder. På basis af sådan forskning udviklede vi katalysatorer, som vi producerede i egne anlæg. I egne teknologiske udviklingsafdelinger arbejdede vi med projektering af industrielle anlæg, der anvendte katalysatorer. Dette foretagende har, efter mange op- og nedture, udviklet sig til i dag at have over 2400 medarbejdere placeret hovedsageligt i Danmark men også med datterselskaber rundt omkring i verden.

Niels Bohr fulgte med stor interesse vort arbejde. Efterhånden som vi fik udvidet foretagendet, ikke mindst med et stort antal eksperimentelle forskningsanlæg, aflagde Niels Bohr jævnligt besøg for at høre, hvorledes vi kunne anvende viden og forskningsarbejde, som i høj grad var baseret på teoretisk fysik til at skabe en virksomhed, som gennem salg af katalysatorer og teknologi kunne finansiere forsknings- og udviklingsarbejdet.

Samarbejdet med Niels Bohr, som udviklede sig til et nært forhold mellem Niels Bohr, hans familie og min familie, førte til, at vi arbejdede sammen om etablering af Risø, hvis oprindelige navn var Atomenergikommisionens Forsøgsanlæg Risø. Niels Bohr, der var foregangsmand, samlede omkring sig en gruppe der arbejdede med Risø-projektet. Gruppen, der bestod af Niels Bohr selv, de to fysikere professor J.C. Jacobsen, professor Torkild Bjerre og jeg selv, opnåede at få aftaler med amerikanerne. Det var især Niels Bohrs venskab med mange amerikanske fysikere, der havde fulgt eller været forbundet med Manhattan-projektet, der muliggjorde, at vi kunne få højt beriget uran, således at vi kunne opbygge nogle forskningsreaktorer.

Niels Bohr var ikke alene interesseret i at bruge Risø til forskning og udvikling og forståelse af, hvorledes atomreaktorer kunne opbygges til forskning og til produktion af energi. Han var også interesseret i at se Risø udvidet med et antal grupper, som arbejdede med forskning, der omhandlede problemer indenfor energi, som ikke nødvendigvis var baseret på produktion af energi i atomreaktorer.



*Uddeling af den første Atoms for Peace Award i 1957:
Bohr, N.; Eisenhower, Dwight D.; Killian, J.*

Niels Bohr var fra begyndelsen interesseret i, at Risø skulle udvikle sig til et forskningsanlæg, som også kunne hjælpe dansk erhverv til at udvikle aktiviteter baseret på solid forskning, såvel grundforskning som anvendt forskning. Det har ikke været let at skabe et godt permanent samarbejde mellem Risø og andre aktører i Danmark, specielt ikke indenfor erhvervslivet. Det var overraskende, at Niels Bohr sammen med statsminister H.C. Hansen kunne gennemføre finansiering og dermed bygning af Risø, og at den danske regering også efter H.C. Hansen støttede Risø, så det blev et særdeles anerkendt – også internationalt anerkendt – forskningsinstitut, men det var nok en skuffelse for Niels Bohr og andre involverede, at det var så vanskeligt at få erhvervslivet ombord. Dette førte til forskellige ændringer i Risø's struktur.

Vort personlige forhold til Niels Bohr og de regelmæssige møder med ham har haft stor betydning for arbejdet i vor virksomhed. Dette tænker jeg selvfølgelig tilbage på med stor taknemmelighed. Et af fokusområderne for vores virksomhed er grundforskning. Grundforskning indenfor katalyse nødvendiggør et intimt samarbejde med fysikere, og herunder også med atomfysikere for at forstå, hvorledes man ved kombination af eksperimentelle arbejder og teoretiske studier kan nå en forståelse af, hvorledes katalysatorer er opbygget, og hvorledes de fungerer. Denne forståelse må nødvendigvis bygge på arbejder på atomart niveau og derfor er vort samarbejde - også det internationale samarbejde - med atomfysikere af stor vigtighed. Specielt skal her fremhæves vort samarbejde med Niels Bohr Institutet på Blegdamsvej i København og Risø, hvis eksistens skyldes Niels Bohr mere end nogen anden.

Den samfundsøkonomiske betydning af Bohrs opdagelse!



AF JOHN RENNER HANSEN

Niels Bohrs banebrydende bidrag til forståelsen af atomets fysik blev startskuddet til en samfundsmæssig udvikling, som i omfang kan sammenlignes med de ændringer, som Newtons "Principia" fra 1686 påførte samfundet gennem 1800-tallets industrialisering. Men i modsætning til Newton skulle der kun gå under et halvt århundrede, før betydningen af Bohrs opdagelse kunne aflæses direkte på samfundsøkonomien. Der er ingen tvivl om at Bohr samtidig forstod at værdsatte betydningen af hans arbejde. Men ingen kunne i deres vildeste fantasi have forudset den revolution, som lå forude. Nobelprisen fra 1922 og tildelingen af den allerhøjeste udmærkelse fra kongehuset, Elefantordenen fra 1947, vidner om en kolossal bevågenhed og anerkendelse, som varede resten af Niels Bohrs liv.

Niels Bohrs institut på Blegdamsvej og hans hjem på Carlsberg blev i den første halvdel af det 20. århundrede rammen om en udvikling, som førte den spæde kvantefysik over i kvantemekanikken og senere i feltteorien. Sidstnævnte er grundlaget for forståelsen af fysikken for naturens pt. mindste byggesten, kvarker og leptoner. Man kan aldrig vide om der i kvarker og leptoner findes endnu mindre byggeklodser, som kun er "synlige" ved de sammenstødsenergier, som var dominerende i det ultratidlige Univers, lige efter Big Bang.

Vores dagligdag er dybt afhængig af resultaterne fra kvantefysikken. Tænk blot på hvordan verden ville se ud uden mikro-elektronik, herunder mikroprocessorer. Ingen personlige computere, ingen kæmperegnetmaskiner til fx forudsigelse af vejret, ingen mobiltelefoner, ingen cd afspillere, fladskærme, etc. etc.. Laseren er et andet eksempel på kvantemekanikkens bidrag til den teknologiske udvikling. LASER står for Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, altså lysudsendelse fordi en elektron stimuleres til at gå fra et højere energiniveau til et lavere. Denne egenskab blev tidligt erkendt, men først eksperimentelt vist i 1960'erne. Lasere bruges alle vegne i vores dagligdag. I CD-afspillere,

som lysgiver i telekommunikations udstyr, som kirurgiske instrumenter, som pegepind, som afstandsmålere, og mange andre steder. Kun fantasien har endnu sat grænser for, hvad vi kan bruge disse ting til, som er direkte afledt af Bohrs opdagelse. I dag skønnes det, at mellem 30 og 35 % af økonomien direkte er afledt af kvantemekanik og dermed kan føres tilbage til Bohrs opdagelse*. Det understreger, hvor vigtig grundforskning er. Man kan ikke på forhånd sige, hvad der bliver afgørende for samfundet, men man kan sige at hvis man ikke bedriver grundforskning, får man ikke de afgørende spring i viden, som fører til epokegørende samfundsudviklende opdagelser. Hverken Newton, Ørsted, Maxwell eller Einstein tænkte på hvad deres forskning kunne bruges til, ligesom en videreudvikling af radiorøret aldrig ville have ført til transistorens opdagelse, selvom de to har den samme funktion.

* *Nature* Volume 488 Number 7409 pp5-124 2 August 2012

<http://community.statesmanjournal.com/blogs/science/2012/08/02/>

[commentary-higgs-boson-and-the-future-of-scientific-research-in-america/](#)

1951 i Lund:

Pauli, Wolfgang; Bohr, N. studerer Tippetoppen!



Bohrs institut



AF FINN AASERUD

Udviklingen af Københavns Universitets Institut for teoretisk Fysik (omdøbt til Niels Bohr Institutet på Bohrs 80-årsdag i 1965) kan gennem de første fyre år (1921 - 1962) knapt skelnes fra en beskrivelse af Niels Bohrs liv. Det var Niels Bohr selv, der kort tid efter sin udnævnelse som professor i 1916 søgte om oprettelse af instituttet, og som senere definerede aktiviteterne på stedet. Institutet blev indviet den 3. marts 1921. Skønt få i antal afspejler de første medarbejdere på instituttet den internationale karakter, som Bohr videreudviklede gennem de følgende år. Gennem sit virke som institutbestyrer i mange år formåede Bohr at udvide sit institut etapevis mht. bygninger, instrumenter, personale og, ikke mindst, forskere fra hele verden, der besøgte i kortere eller længere perioder.

For Bohr udelukkede ordet "teoretisk" i instituttets navn således ikke en eksperimentel tilgang til fysikken. Tværtimod var det ved oprettelsen en væsentlig motivation for Bohr, at der var mulighed for at udføre eksperimenter for at afprøve teoretikernes idéer. Fra begyndelsen var der eksperimentalfysikere på instituttet, som byggede sindrige spektroskopiske instrumenter for at teste teoretikernes forudsigelser i atomfysik.



Foto fra 193 med Landau, Lev Davidovich;
Teller, Edward; Gamow, George; (Bohr, Aage) (Bohr, Ernest)

I starten af 1920erne kunne Bohr anvende sin atomteori til at forudsige egenskaberne for alle kemiske grundstoffer og være med til at give en naturvidenskabelig forklaring på grundstoffernes placering i Grundstoffernes Periodesystem. Grundstof 72 var problematisk, da eksperimentalfysikere i England og Frankrig mente at have påvist, at grundstoffet tilhørte gruppen "de sjældne jordarter", hvilket var i uoverensstemmelse med Bohrs teori. På Bohrs institut gik George de Hevesy, en ungarsk fysisk kemiker og Bohrs nære ven og kollega siden 1912, sammen med fysikeren Dirk Coster fra Holland i gang med at undersøge sagen eksperimentelt. Ved slutningen af 1922 havde de påvist at grundstoffet stemte overens med forudsigelserne af Bohrs teori, hvilket Bohr fremførte i den trykte version af sit Nobelforedrag. Det nye grundstof blev kaldt hafnium, det latinske navn for København.

Bohrs antagelser, der førte til opdagelsen af hafnium var en del af det, som senere er blevet kaldt "den gamle kvanteteori". En fuldstændig ny teori, kvantemekanikken, der fortsat udgør baggrunden for vort fysiske verdensbillede, blev formuleret hver for sig af Werner Heisenberg og Erwin Schrödinger i hhv. 1925 og 1926. Udviklingen af teorien skete for en stor dels vedkommende i forbindelse med arbejdet på instituttet.

Fortolkningen af den nye teori skete gennem åbne og uformelle diskussioner som også var et enestående kendetegn ved instituttet. Samtalerne var delvist betinget af Bohrs behov for samtaler med henblik på at udvikle sine idéer. Det var på denne baggrund at Bohrs komplementaritetsbegreb og den senere såkaldte "Københavnfortolkning" af kvantemekanikken blev udviklet.

De karakteristiske uformelle diskussioner imellem Bohr og hans (sædvanligvis yngre) kolleger blev institutionaliseret i 1929 ved den første årlige fysikkonference på instituttet.



1921 Universitetets. Det første Niels Bohr institut:
"Universitetets Institut for Teoretisk Fysik".

Konferencerne blev gennemført uden en fastlagt dagsorden, hvilket var nyt på den tid. Den uformelle atmosfære blev understreget af opførelsen af komedier skrevet og udført af de yngre konferencedeltagere. Den mest berømte af disse er en parodi på Faust i 1932 ved fejringen af 100-året for Goethes død. Selv om det nye konferencekoncept opstod i København, blev det hurtigt bragt ud til mange af de steder, hvor de deltagende fysikere senere fik varigt arbejde. De uformelle konferencer fortsætter på Niels Bohr Institutet den dag i dag.

Da den teoretiske fysik i den første halvdel af 1930'erne vendte sig fra den ydre del af atomet til dets centrum, kerne, blev der behov for nyt apparatur. Det vidner om Bohrs vægtning af enheden mellem teori og eksperiment, at han var en af de første, der tilstræbte en overgang til eksperimentel kernefysik ved sit institut.

I 1930'erne havde Rockefellerfondet iværksat et program til støtte for naturvidenskab med fokus på "eksperimentel biologi". Bohr formulerede derfor, sammen med Hevesy og den danske fysiolog og Nobelprismodtager i 1920, August Krogh, et relevant biologisk forskningsprojekt, som brugte samme type eksperimentelt apparatur som blev brugt til atomkerneforskning. I sidste halvdel af 1930'erne og senere gennemførte Bohr og hans fysikmedarbejdere forskning i kernefysik side om side med Hevesys biologiske undersøgelser.

Hevesys arbejde var baseret på hans opfindelse af den radioaktive indikator metode mere end tyve år tidligere. Metoden kunne også anvendes i biologien, da det i begyndelsen af 1930'erne blev muligt at fremstille radioaktive isotoper på kunstig vis. Denne forskning nåede sit højdepunkt lige før

krigen hvor instituttet holdt mindre dyr som skulle bruges til Hevesys forskning. Ikke desto mindre blev det nye apparatur først og fremmest anvendt til fysik, og i begyndelsen af 1939 blev instituttet det første sted, hvor man påviste kernespaltnings eksperimentelt.

Efter krigen gennemgik Niels Bohr Institutet en stor udvikelse, og forskningen i kernefysik nåede et nyt højdepunkt midt i halvtredserne, da Niels Bohrs søn, Aage Bohr, sammen med den amerikanskfødte fysiker Ben Mottelson, foreslog den kollektive model for atomkernen, der kunne forklare mange ellers forvirrende eksperimentelle resultater. Bohr og Mottelson modtog Nobelprisen for fysik i 1975 sammen med den amerikanske fysiker Leo James Rainwater.

Fra midt i 1950'erne har Niels Bohr Institutet spillet en fremtrædende rolle i åbningen af forbindelserne mellem Øst og Vest specielt under den Kolde Krig. Instituttets ry for forskning på et højt niveau og for sin internationale indstilling var væsentligt for genoprettelsen af det formelle og uformelle øst-vest samarbejde indenfor fysikken. Dette var medvirkende til at bringe til ophør en periode med sovjetisk isolation, der gik tilbage til langt før krigen.

I 1950'erne blev instituttet engageret i den fremvoksende høj-energi partikelfysik. Interessen for dette område kom fra CERNs (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) teoretiske studiegruppe. Denne havde hjemsted på instituttet i en årrække fra gruppens oprettelse i 1952 indtil 1957, hvor den sluttede sig til resten af CERN ved Geneve i Schweiz. På det tidspunkt havde instituttet udviklet aktiviteter indenfor feltet og det deltager den dag i dag i flere store forskningsprojekter ved CERNs acceleratoranlæg. Som formand i den danske atomergikkommission var Bohr også særdeles aktiv i oprettelsen i 1955 af Atomergikkommissionens Forskningsanlæg Risø (siden 1985, Forskningscenter Risø), hvor det såkaldte tandemacceleratorlaboratorium fra 1961 til 1999 var en afdeling under Bohrs institut.

Gennem de sidste årtier er mange nye områder indenfor fysikken vokset frem, såsom kaosteori, kvanteoptik og biofysik. Disse områder udgør en væsentlig del af instituttets nuværende aktiviteter. Siden 1993 er undervisning og forskning blevet udvidet yderligere, idet faststoffysik, geofysik, astronomi og iskerneforskning er blevet integreret i et større Niels Bohr Institut.

Atommodeller

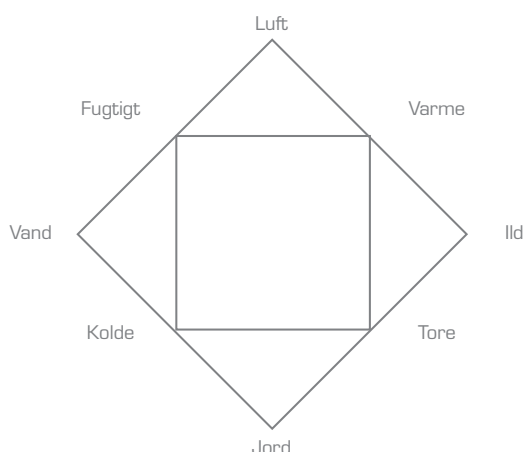


AF CHRISTIAN PETRESCH

Oldtidens atommodel

Den skotske fysiker James Clerk Maxwell (1831 – 1879) holdt i 1873 et foredrag hvor han udtalte:

”Findes der atomer, eller kan stof deles i det uendelige? Denne slags spørgsmål er blevet diskuteret lige siden mennesket begyndte at ræsonnere, og de samme gamle spørgsmål opstår evigt unge for hver af os, så snart vi når fornuftens brug. De udgør en lige så væsentlig del af videnskaben i vort eget nittende århundredes æra som i det femte århundrede før det.”



Omkring år 450 f.Kr. formulerede en række græske filosoffer nogle modeller af hvorledes stof er opbygget. En af de første modeller vi kender er af Empedokles (omkring 490 – 430 f.Kr.)/Aristoteles (384 f.Kr. – 322 f.Kr.) og den beskriver stof som opbygget af de fire elementer: Ild, Jord, Luft og Vand samt de fire kvaliteter: Tørt, Koldt, Fugtigt og Varmt. Modellen holdt i omkring 2000 år. Ideen er at alt stof kan opfattes ud fra egenskaber ved de fire elementer. Hvert element kan karakteriseres ved to kvaliteter: fx. er Jord karakteriseret ved at elementet er Tørt og Koldt. Aristoteles tilføjede elementerne egenskaberne Lethed eller Tyngde afhængig af deres ”naturlige” bevægelse. Demokrit (født ca. 460 f.Kr.) foreslog en konkurrerende model: Alt stof var opbygget at

små usynlige partikler – såkaldte atomer - der bevæger sig i det tomme rum. Atomerne var karakteriseret ved deres størrelse og form.

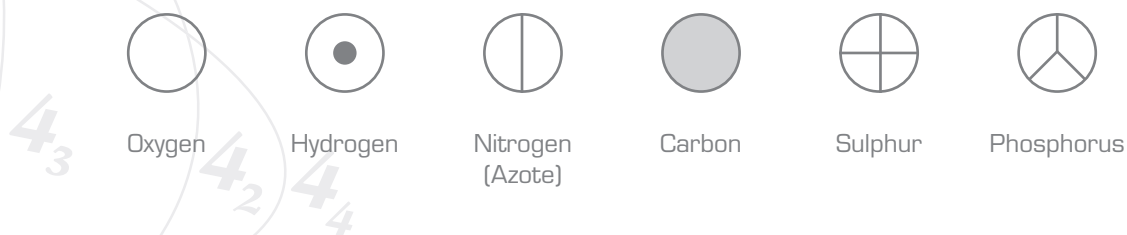
Element er datidens grundstofbegreb! De græske filosoffer udførte ikke forsøg eller eksperimenter. Det praktiske arbejde i naturfagene kom først ind langt senere.

Ved at forene forskellige atomer dannes de kendte stoffer. Ordet atom stammer fra det græske ord atomos som betyder udelelig. Forestillingen om atomerne indebar at de var i ustandselig bevægelse, havde forskellig størrelse og at nye stoffer blev dannet ved at atomerne hæftede sig sammen med kroge. Imellem atomerne var der intet! Specielt det sidste kunne ikke gå an! ”Naturen” kan ikke lide tomrum hævdede modstanderne af atommodellen. Derfor ”vandt” de fire elementers model og var den fremherskende model frem til 1500-tallet. Først da turde nogen stille spørgsmålstegn ved ”De fire elementers model”.

Atommodeller i det 17- og 18-hundretallet

I slutningen af 17- og i 18-hundretallet begyndte der at dukke ”ægte naturvidenskab op” og specielt inden for kemien skete der så store fremskridt, at englænderen John Dalton (1766 - 1844) omkring 1810 kunne opstille et helt nyt grundstofbegreb og dermed også en helt ny atommodel.

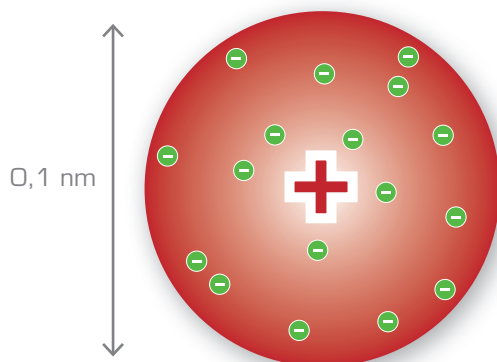
- Et grundstof består af ens atomer, der er ufattelige små.
- Et grundstofs atomer har alle samme vægt, der ligeledes er ufattelig lille.
- Atomer af forskellige grundstoffer har også forskellige vægte.
- Et stof (en kemisk forbindelse) er sammensat af et eller flere grundstoffer.



Dalton brugte ovenstående tegn for de enkelte grundstoffer. Nogle af disse tegn blev også brugt af Alkymisterne.

Samtidigt opdagede videnskabsfolk flere og flere grundstoffer og bestemte deres egenskaber. På denne baggrund kunne man opstille en oversigt over grundstofferne: Grundstoffernes Periodesystem. Efterhånden blev man også klar over at hvis atomerne eksisterede måtte de være meget små!

I 1897 opdagede den engelske fysiker J. J. Thomson (1856 - 1940) den første elementarpartikel - den negative elektron. Da vi ikke får et elektrisk stød når vi rører ved materialer må atomer også indeholde positive ladninger og på den baggrund opstillede Thomson sin "Rosinbolle-model" af atomet.



Diameter af atomet – "den røde kugle":

0,1 nm = 0,000 000 000 1 m

Nanometer (nm) betyder 10^{-9} m

De små "grønne" symboliserer elektronerne på atomets overflade. Ligheden med en rosinbolle er nærliggende!

Atommodeller i det 19. århundrede

Den berømte fysiker Ernest Rutherford (1871 - 1937) offentliggjorde i 1908 en artikel hvori han beskrev hvordan alfapartikler passerede gennem et ultra tyndt guldfolie. Han havde tidligere på snedig vis vist at alfapartikler var den positivt ladede tunge del af luftarten helium. Til alles kæmpe overraskelse passerede langt hovedparten af alfapartiklerne det tynde guldfolie som om det slet ikke var der! Nogle få

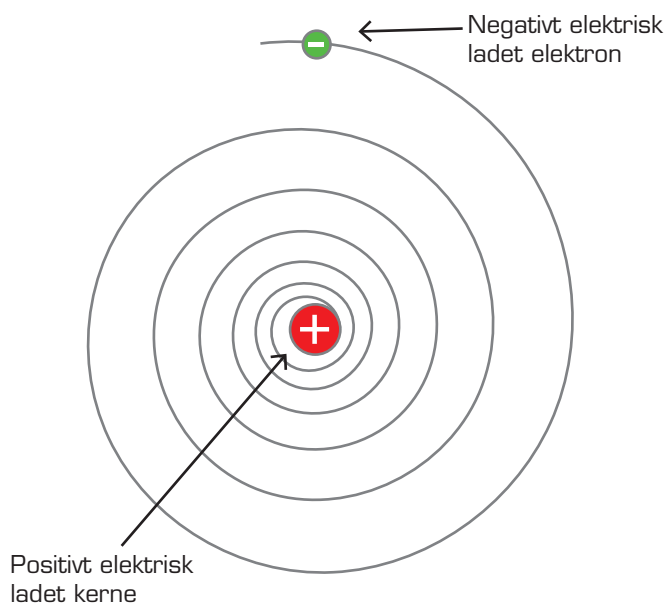
af alfapartiklerne blev afbøjet, ja nogle så meget, at de nærmest blev kastet tilbage hvor de kom fra.

Thomson "Rosinbolle-model" kunne under ingen omstændigheder forklare dette resultat, så Rutherford opstillede en ny model af atomets opbygning: Et atom har en lille men tung kerne omgivet af elektroner.

Der var dog et alvorligt problem med denne model. Atomer kunne, ifølge den fysik man kendte på dette tidspunkt, ikke eksistere da elektroner ville foretage en spiralbevægelse og falde ind i kernen under udsendelse af lys med kortere og kortere bølglængde – et kontinuert spektrum. Fx: Hydrogenatomer skulle således udsende lys med alle mulige farver og til sidst gå til grunde ved at elektronen blev indfanget i kernen.

I begyndelsen af 1900-tallet kendte man udmærket hydrogens spektrum og det var ikke kontinuert! Hydrogen udsender netop ikke lys med alle farver men kun nogle få farver i det synlige område - se hydrogens spektrum nedenfor.

Den Schweiziske fysiker Johann Balmer (1825 - 1898) formulerede i 1885 en formel for bølglængden af lyset i den synlige del af hydrogens spektrum.





Stærkt inspireret af Balmers opdagelse "løste" Niels Bohr (1885 - 1962) i 1913 problemet om sammenhængen mellem elektronernes kredsen om atomets kerne og lysudsendelsen fra atomet ved at formulere to postulater der i 1922 blev belønnet med Nobelprisen i fysik.

1. Et atomart system kan kun eksistere i såkaldte stationære tilstande hver med en bestemt energi E .
2. Ved overgang mellem to stationære tilstande n og m med energierne E_n og E_m vil der enten udsendes eller absorberes en foton med energi:

$$f \cdot h = E_n - E_m$$
 f er lysets frekvens og h er Planck's konstant.

Det Bohr gjorde var i virkeligheden at påstå, at den fysik som i 1913 var anerkendt og som man vidste fungere i stor målestok ikke gjaldt i atomernes verden. Der skulle en hel ny fysik til – kvantefysikken var født.

Men denne nye fysik skulle også ligne den gamle fysik når systemet havde en stor målestok – der skal være "korrespondance" mellem den gamle og den nye fysik!

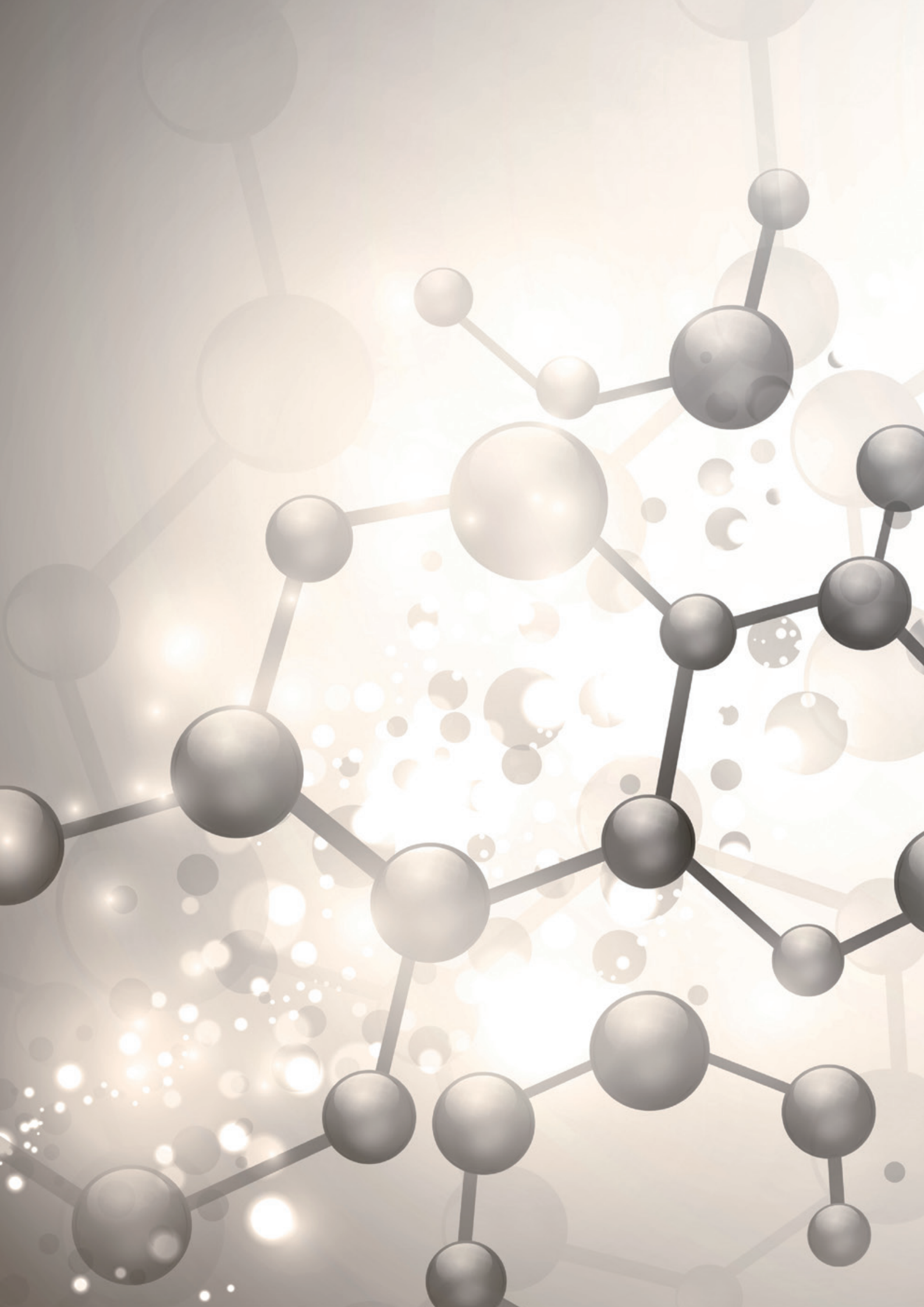
I løbet af det næste årti udviklede kvantefysikken sig og blev til kvantemekanikken som har givet os fantastiske, raffinerede men vanskelige beskrivelser af atomernes verden. I kemien giver kvantemekanikken en beskrivelse af en kemisk binding: elektron-par bindingen.

Hele denne udvikling har samtidig bevirket at vi er blevet bedre og bedre til at anvende denne viden til noget praktisk, tænk bare på laseren, lysdioder og nanoteknologi!

I dag anvender vi stadig Bohrs atommodel fra 1913 i undervisningen når vi skal beskrive udsendelse af lys fra atomer, ligesom "elektronbaner" og kvantetal bruges i beskrivelsen af Grundstoffernes Periodesystem.

Bohrs atommodel har dog en begrænset gyldighed, så andre atommodeller har taget over inden for en række områder.

Opbygningen af stof, atomer og det der er mindre diskuteres også den dag i dag og udgør en lige så væsentlig del af naturvidenskaben i vor egen tid som i tidernes morgen.



Om at holde tingene åbne



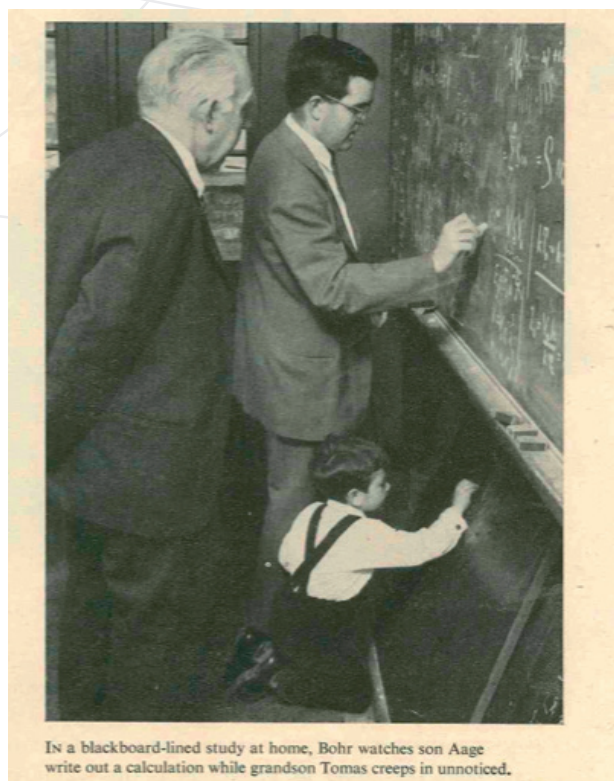
AF TOMAS BOHR

Hvad var det, der gjorde Niels Bohr til en så fascinerende personlighed, at han kunne tiltrække en hel generation af de mest originale unge videnskabsmænd og skabe et nervecenter for udviklingen af den fysik, der revolutionerede det 20. århundrede? Inden for samme periode var der fysikere med større matematisk dygtighed eller med større eksperimentelt håndlag, men noget gjorde, at netop han stod frem som noget ganske særligt, der fascinerede og tiltrak umådeligt mange mennesker fra elever og kolleger til politikere hele vejen op til President Roosevelt himself.

Som Niels Bohrs barnebarn har jeg naturligvis også selv oplevet denne fascination, den glæde det var at være sammen med ham. Det var inspirerende at opleve ham og blive fanget ind af hans varme og hans mange sjove og dybsindige opgaver og historier*. De mærkelige symboler, som han og min far skrev og diskuterede på tavlen virkede sært dragende, som fra en hemmelig og tryk verden man måske engang kunne blive lukket ind i.

I de senere år har jeg tænkt en del over, hvad det mon var, der gjorde ham så speciel. Jeg har forsøgt at samle nogle af disse tanker nedenfor. I den forbindelse har det naturligvis været en stor inspiration at tale med min far Aage Bohr, med mine søskende Paula og Ville og mine fætre og kusiner samt mange andre især Jørgen Kalckar, Abraham Pais* og Finn Aaserud.

1. For det første havde Niels Bohr det mod og de evner, der skulle til at kaste sig over de mest brændende problemer i fysikken på det tidspunkt. Han var god til at identificere disse problemer og til at konfrontere dem med en passende blanding af på den ene side fundamentale principper og formelle udledninger og på den anden side mere pragmatisme, intuitive ideer. Han beskriver selv denne blanding meget smukt i sin tale ved banketten til Nobelfestlighederne i 1922: When the great experimental discoveries around the turn of



Med min far og min farfar.

the century, in which investigators from many countries took such a prominent part, gave us an unsuspected insight into the constitution of atoms, we owe this above all to the great researchers of the English school, Sir Joseph Thomson and Sir Ernest Rutherford, who have inscribed their names in the history of science as shining examples of how imagination and acute insight are capable of looking through the multiplicity of experiences and laying bare to our eyes the simplicity of Nature. On the other hand, abstract thought, which has always been one of mankind's most powerful aids in lifting the veil that conceals the laws of nature to the immediate observer, has been of decisive significance for applying the insight gained into atomic structure to explain the properties of the elements directly accessible to our senses. Also in this

*Abraham Pais har skrevet en biografien "Niels Bohr og hans tid".

work, men of many nations have made important contributions; but it was the great German scientists, Planck and Einstein, who, through their abstract and systematic studies, first taught us that the laws holding for the motion of atomic particles, which govern the properties of the elements, are of an essentially different nature than the laws by which science hitherto had attempted to order our observations of the phenomena of nature. That it has been my undeserved good fortune to be a connecting link at a stage in this development is only one piece of evidence among many of the fruitfulness, in the world of science, of the closest possible intercommunication of research work developing under different human conditions.

Det er naturligvis en festtale og derfor lidt mere højtravende end normalt, men jeg synes alligevel, at han får sagt nogle centrale ting. Han får klart kontrasteret den engelske eksperimentelle skole (eksperimentérkunst var et af hans yndede udtryk), hvor man kastede sig ud i ret fordomsfri, direkte studier af naturen og den tyske mere abstrakte og systematiske skole. Han omtaler andetsteds de engelske fysikere som dilettanter, et udtryk han også gerne brugte om sin egen tilgang til videnskaben. Ordet dilettant kommer jo af det italienske dilettare: at glæde, og glæden ved naturen og den friske tilgang til studiet af den - uden al for megen lærdom - var vigtig for ham. Han anbringer sig selv som et connecting link mellem disse to skoler. Han vil gerne basere sin videnskab på fundamentale principper, men hvis et problem er tilstrækkelig vigtigt må man tage det op og "gøre noget", selv om man måske endnu ikke kender de ultimativt rigtige principper.

Vi ser også her til slut et andet vigtigt træk ved Niels Bohrs tilgang til videnskaben. Han mener at videnskaben er et ægte globalt anliggende. Jeg tror, han opfattede det videnskabelige samfund som en slags global familie, hvor hver nation med sit særpræg kan bidrage til fremskridtet på sin unikke måde. Og som faktisk kunne bruges som model for en mere fredelig verden.

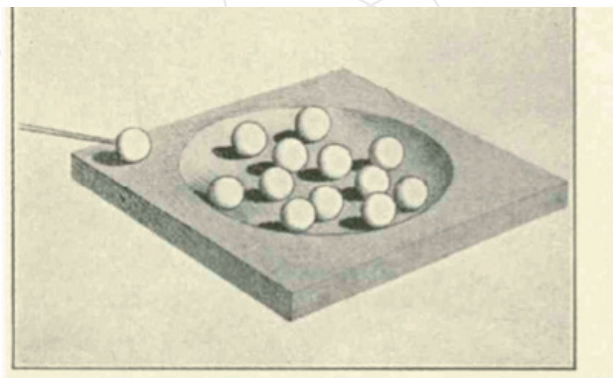
2. Niels Bohr havde en stærk livsfilosofi. Tilværelsen hang for ham sammen til et hele, som tillod ham intuitivt at forstå nye videnskabelige sammenhænge og tage stilling til politiske og menneskelige problemer samt gjorde det muligt for ham at bevare gå-på-modet i modgang, faglig såvel som menneskelig. Den værste ulykke som ramte ham var uden tvivl da hans ældste søn Christian druknede på en sejltur med Niels

og hans venner i 1934. Christian ville gerne have været på cykeltur i Tyskland med vennen Mogens Andersen, men Niels Bohr mente at Tyskland med Hitler i spidsen var et for usikkert sted til en cykeltur for to unge studenter og tog i stedet for Christian med ud at sejle på Øresund. De kom ud i dårlig vejr nær Varberg og ulykkeligvis faldt Christian overbord, og selv om han var en god svømmer forsvandt han for dem. Det var en forfærdelig tragedie for familien, men det lykkedes at komme igennem det sammen. Niels Bohr var meget rørt over de tilkendegivelser, der kom fra Christians unge venner og skrev et smukt stykke "Ved afskeden fra hjemmet", hvori han slutter med at formode at enhver af os vel lever vores stærkeste liv i sine medmenneskers tanker. Det er en god tanke, synes jeg.

Heisenberg mente at Niels Bohr egentlig ikke var fysiker, men filosof. Og gennem diskussioner med netop Heisenberg, Pauli og især Einstein kæmpede han utrætteligt for at forstå de store sammenhænge, som udsprang af de nye videnskabelige opdagelser. Dualiteten mellem bølger og partikler optog ham længe før kvantemekanikken kom frem. Han vidste intuitivt, at det var umuligt at forene lysets mærkelige egenskaber inden for den klassiske fysiks rammer. Allerede i 1920 - 5 år før kvantemekanikken - diskuterede han dette med Einstein i Berlin, som jo ikke så sådan på det, og spurgte i spøg Einstein, om man så ville indføre et tysk forbud mod fotoceller, hvor lyset jo i strid med den elektromagnetiske bølgeteori, opfører sig som en partikel. Han havde en vidunderlig evne til at formulere slående, paradoksale iagttagelser, som gav et nyt perspektiv. Hvad er f. eks. en "ekspert"? De fleste menneske ville nok mene, at det er en som er meget klog og har slugt alverdens viden inden for et område. Niels Bohrs formulering var: En ekspert er en mand, der af personlig, smertelig erfaring, ved en lille smule om de groveste fejltagelser, man kan begå selv inden for det allermindste område.

Nogle af hans artikler, især fra hans modne år, er også næsten fri for formler og fremstiller mere et nyt syn på eller en angrebsvinkel til et videnskabeligt problem. Et godt eksempel er hans ide om "Compound" atomkernen - en atomkerne ramt (exciteret) af et indkommende projektil, f.eks. en neutron. Viki Weisskopf (en hyppig gæst i København) skriver i 1955 (Physics in the Twentieth Century, 1955, 1972): Rarely has a single paper dominated a field of physics as has Bohr's address to the Copenhagen Academy in 1936, in which he proposed the idea of a compound nucleus. During the 18

years since its appearance, it has been the decisive influence on the analysis of nuclear reactions. Denne artikel indeholder ikke en eneste formel. Til gengæld var der bl. a. billedet her, som viser en ret original måde at opfatte en atomkerne!



Atomkerneprocesser som billard spil.

Niels Bohr opfandt et herligt nyt begreb: en "dyb sandhed". Normalt er det modsatte af noget sandt simpelthen noget forkert; men for en dyb sandhed gælder, at det modsatte også er en dyb sandhed. Og begge aspekter må med, hvis man vil have en fyldestgørende beskrivelse.

Udsagnet "Man skal udtrykke sig så klart som muligt" lyder jo meget fornuftigt; men det modsatte: "Man skal ikke udtrykke sig så klart som muligt" kan også være fornuftigt. Niels Bohr mente, at "sandhed" og "klarhed" er komplementære udtryk: tilstræber man for megen klarhed må man simplificere og dermed gå på kompromis med den komplicerede sandhed.

3. Niels Bohr havde en enorm råstyrke. Han var fysisk stærk og udholdende. Han kunne klare lange gåture tværs over Sjælland, og koncentrere sig i dagevis om komplicerede artikler eller udregninger. I sommeren 1922, nogle måneder før han fik Nobelprisen, holdt han i Göttingen inden for 10 dage i juni, 7 foredrag (de såkaldte Bohr-Festspiele), hvor han fremlagde hele kvanteteorien. Lidt af en fysisk præstation! Blandt tilhørerne var de unge studerende Werner Heisenberg og Wolfgang Pauli, som blev dybt fascineret af Niels Bohrs personlighed og forelæsningsstil, hvor de åbne problemer gang på gang blev fremhævet, i stedet for som mange samtidige, at fremhæve den smukke teoretiske bygning. Denne styrke havde han med helt fra barn af og i den forbindelse er det interessant at læse, hvad hans gamle skolekammerat

Aage Berleme (som hjalp med at starte Niels Bohrs institut og som min far, Aage, er opkaldt efter) fortæller i "Minder fra Gammelholms Latin- og Realskole (1952)": Det lyder som en paradox, men Niels står for mig i al den tid, han var en lille dreng, som en meget stor dreng. Han var stor af vækst, temmelig grov af lemmer, og var stærk som en bjørn, mens jeg var klassens yngste og en splejs. Niels var i de år bestemt ikke bange for at bruge sine kræfter og var altid med, hvor der var slagsmål. Sådanne var dengang en meget almindelig foreteelse i frikvartererne, og forresten fandt de også sted uden for skolen på Skt. Annæ Plads. Hvad vi dengang sloges for, ved jeg ikke, men Niels erhvervede sig ry som en stærk dreng, en voldsom dreng kan man sige, for i hele sin opvækst havde han svært ved at beregne sine handlingers rækkevidde, og de "blodige tude" han uddelte var sikkert langt fra alle tilsigtede. Han har pryglet mig utallige gange.

Jeg spurgte engang min far om min farfar egentlig var beskeden? Det tænkte han længe over, hvorefter han svarede, at overfor sin egen indsats var han meget beskeden, men hvis han havde en ide eller en pointe kunne han blive ved uophørligt, ofte indtil modparten var ved at segne. En kendt historie i den forbindelse er Schrödingers besøg i 1926. Schrödinger var inviteret til København for at fortælle om sin nye bølgemekanik. Han boede hos Niels Bohr og blev syg - sikkert på grund af de udmattende diskussioner - og måtte gå til sengs. Det hjalp dog ikke meget, da Niels Bohr fortsatte diskussionen på sengekanten...

Denne råstyrke var også en forudsætning for hans enorme skriftlige produktion. Hans "Samlede værker" er tilgængelig på fornemste vis i den store, smukke 12 binds udgave, og demonstrerer en kæmpe flid og et stort udsyn. Udover de trykte artikler indeholder disse bind fremragende indledninger (af bl. a. chefredaktøren Finn Aaserud) og et godt udvalg af kladder og korrespondance, hvilket gør det til meget spændende læsning.

4. Som det sidste og måske vigtigste punkt, vil jeg nævne Niels Bohrs usædvanlige evne til at holde tingene åbne. Når en ny revolutionær teori opstår, bliver den ofte hurtigt til et nyt dogme. Udsynet lukker sig hurtigt igen - fryser til, som en våge i isen - og man fremhæver den nye teoris succes frem for dens mangler. Vi har alle behov for noget fast at holde os til, en veldefineret teori eller nogle klare meninger; men Niels Bohr var en mester i at bevare åbenheden, huske på, hvor store problemerne stadig var. I sit foredrag i Fysiks Forening i

1913 (Om Brintspektret) kort efter sit livs største succes, beskrivelsen af brintatomet og bestemmelsen af Rydbergs konstant ud fra fundamentale konstanter, forklarer han: Vi står her på næsten fuldstændig bar Bund, og må ved indførelsen af nye Antagelser blot sørge for, at vi ikke kommer i Modstrid til Erfaringen. Hvorvidt dette kan undgås på alle Punkter, må Tiden vise; men den sikreste Vej er naturligvis at gøre så få Antagelser som overhovedet muligt. Og til sidst i foredraget: Førend jeg slutter, vil jeg blot gerne sige, at jeg håber, at jeg har udtrykt mig så tydeligt, at De vil have opfattet, hvor meget de fremførte Betragtninger strider imod den så beundringsværdigt sammenbyggede Kreds af Forestillinger, som man med rette har benævnt den klassiske Elektrodynamik. På den anden side har jeg bestræbt mig for at bibringe Dem det indtryk, at der - netop ved så stærkt at fremhæve denne modstrid - måske er Mulighed for med Tiden også at bringe en vis Sammenhæng i de nyere forestillinger.

I 1918 (On the quantum theory of line spectra) skriver han tilsvarende: These difficulties are intimately connected with the radical departure from the ordinary ideas of mechanics and electrodynamics involved in the main principles of the quantum theory, and with the fact that it has not been possible hitherto to replace these ideas by others forming an equally consistent and developed structure.

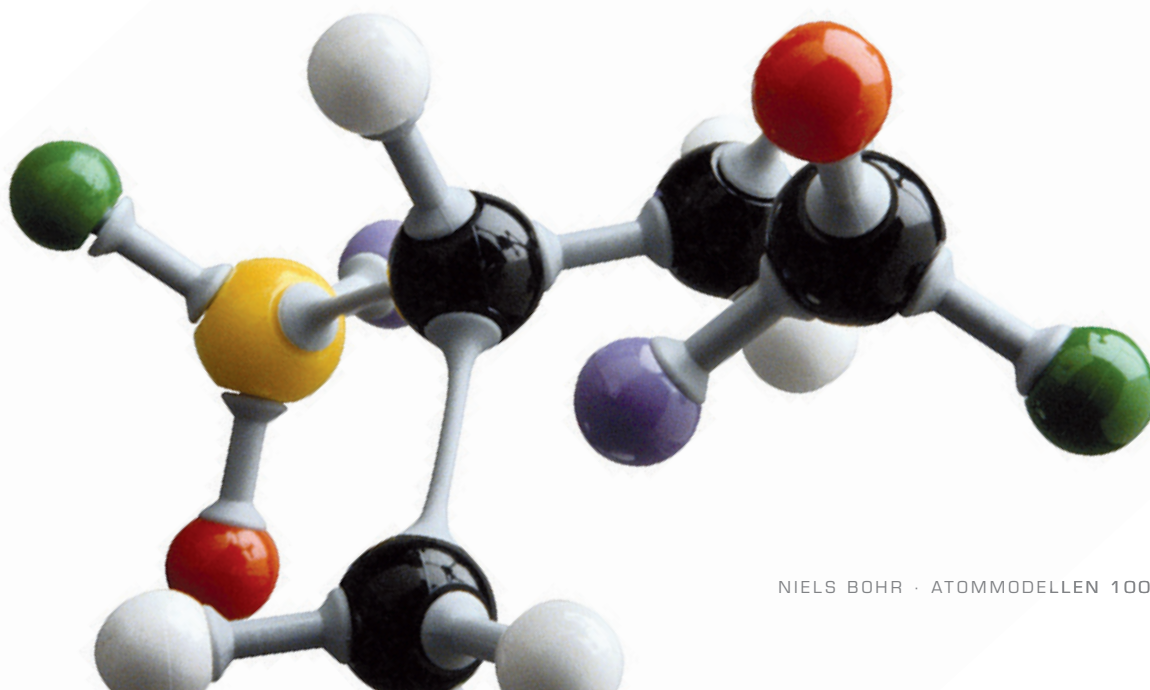
Senere, efter udviklingen af kvantemekanikken, som jo netop udgjorde en sådan consistent and developed structure, skriver han i "Diskussioner med Einstein om Erkendelsesteoretiske Problemer i Atomfysikken" (1949): ... stillet overfor den opgave at bringe orden på et helt nyt erfaringsområde [kan vi] næppe stole på nogen nok så tilvante almindelige principper, bortset fra kravet om, at undgå logisk modsi-

gelse... Vi kan ikke vide, hvordan naturen opererer, men må være åbne over for, hvad vi ser. I deres diskussioner - gennem 30 år! - var en af Einsteins berømte indvendinger imod kvantemekanikken, at "Gud ikke spiller med terninger", hvortil Bohr skal have svaret, at Einstein måtte holde op med, at fortælle Gud, hvad han skulle!

Niels Bohrs åbenhed kommer også til udtryk ved, at han, som han selv sagde, forsøgte ikke at formulere sig klarere end han tænkte. I artiklen om komplementaritet (Nature (1928)) skriver han: The hindrances ... originate above all in the fact that, so to say, every word in the language refers to our ordinary perceptions. In the quantum theory we meet this difficulty at once in the question of the inevitability of the feature of irrationality characterizing the quantum postulate. Her skal man virkelig spidse ører. Han skriver ikke: we meet this difficulty in the inevitability..., men derimod in the question of the inevitability... Mon ikke der deri ligger, at spørgsmålet om, hvorvidt noget er rationelt eller ej, i høj grad er et sprogligt problem?

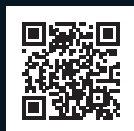
Åbenhed - på alle planer - var et kernepunkt for Niels Bohr. Politisk er han ofte blevet opfattet som naiv, fordi han foreslog gensidig åbenhed: man skulle dele hemmelighederne om atombomben med russerne lige efter krigen til gengæld for gensidig kontrol - noget, han i øvrigt, i hvert fald for en tid, fik overbevist Roosevelt om. Man taler sjældnere om, hvor naive de allierede var, når de troede, at man kunne holde sådan noget hemmeligt, eller om, hvor farlig og destruktiv åbenhed faktisk er for udemokratiske magthavere.

** Nogle af dem har jeg, sammen med min bror Vilhelm Bohr, beskrevet i "Bogen om Niels Bohr" (Epsilon, 2013)*

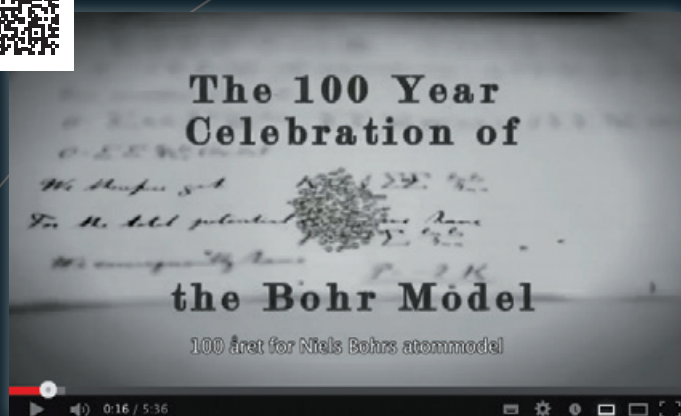
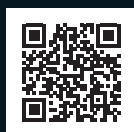


I anledning af Bohr-året er der lavet 2 film!

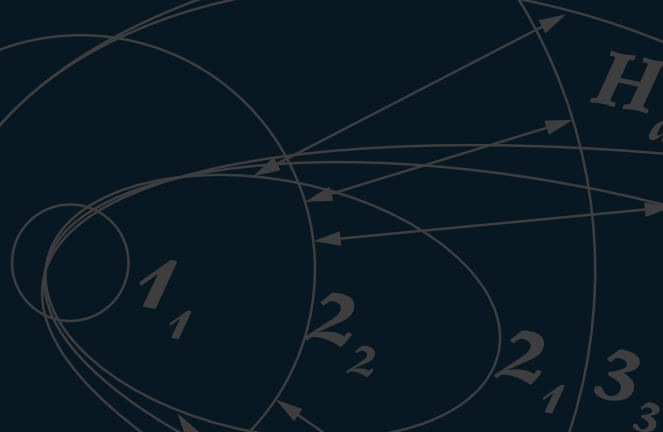
Se filmene her:



Denne film er lavet af Kulturcentret Assistens.



Denne film er lavet i et samarbejde mellem Niels Bohr Arkivet, Lundbeckfonden og Experimentarium.





3₂ 3₄ 3₄



NTS-CENTERET
- styrker natur, teknik og sundhed

WWW.NTS-CENTERET.DK