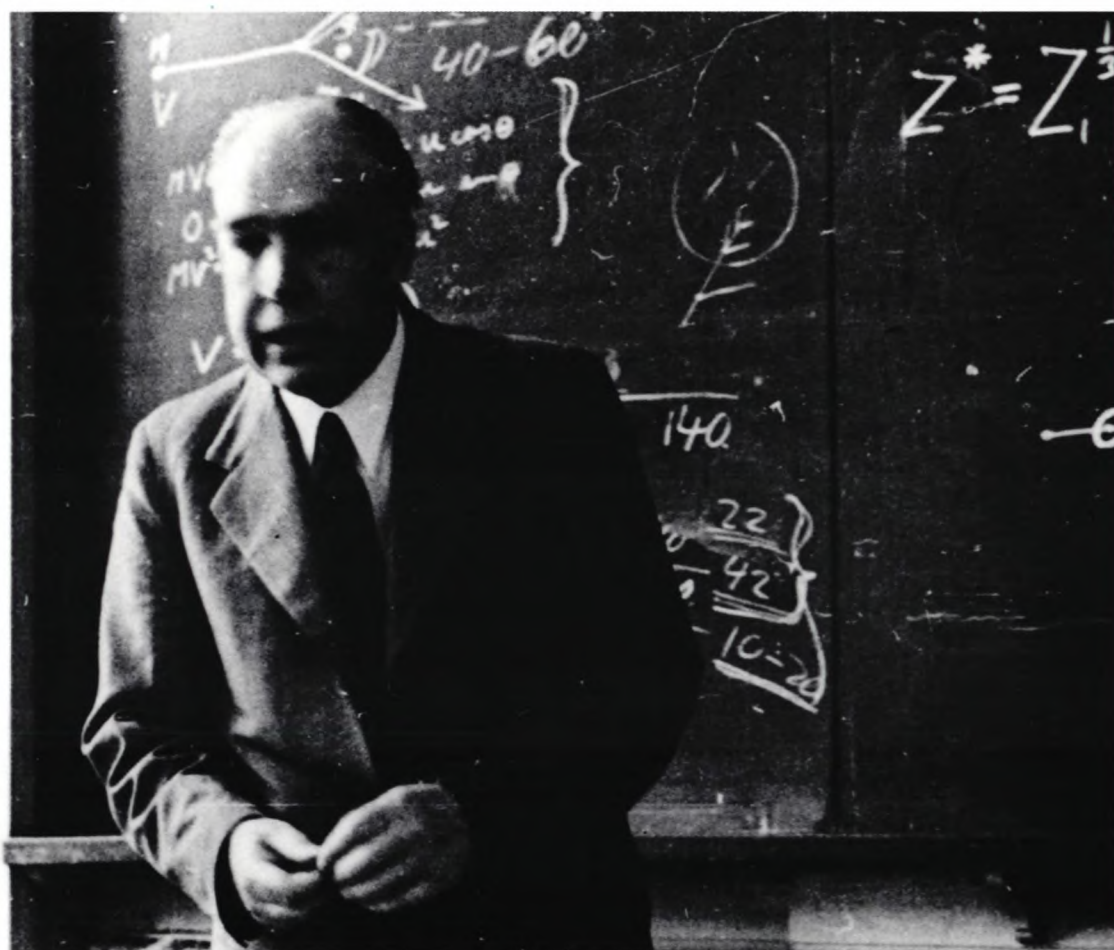


KVANT

Maj
1999 2

Fysisk Tidsskrift

10. årgang



- UDVIKLINGEN AF BOHRS STØDTEORI • BOHR OG SEMIKLASSISK KOLLISIONSFYSIK •
- ELEKTRONINDFANGNING I KOLLISIONER • FRI-ELEKTRON LASEREN •
- GENERALFORSAMLING I SNU, DFS OG EPS •

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Fysisk Tidsskrift

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

Telefax : 35 32 05 76
E-mail : kvant@nbi.dk
Giro : 5 84 31 46

Udgives af

Dansk
Fysisk
Selskab

Selskabet for
Naturlærens
Udbredelse



Redaktion

Jens Olaf Pepke Pedersen (ansv.)
DCESS, NBIfAFG, KU
Jørgen Friis Bak
Aarhus Universitet
Jørn Johs. Christiansen
Roskilde Kathedralskole
Torsten Freltoft
NKT Research Centre
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut, KU
Finn Berg Rasmussen
Ørsted Laboratoriet, KU
Ove Østergaard
Silkeborg Amtsgymnasium

Kvant udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Abonnementspris: 135 kr/år.

Annoncepriser

1/1 side	3000 kr
1/2 side	1600 kr
1/4 side	1000 kr
Farvetillæg	1800 kr

Priserne er excl. moms og gælder for reproklart materiale. Henvendelser om annoncer til Redaktøren, telefon 35 32 05 73, telefax 35 32 05 76.

Oplag: 2000

Tryk: P. J. Schmidt, Vojens
ISSN 0905-8893

Produktionsplan

Nr. 3-99 udkommer ca. 15. september
Nr. 4-99 udkommer ca. 15. november
Nr. 1-00 udkommer ca. 15. marts
Deadline for mindre bidrag og annoncer er ca. en måned før, længere artikler skal modtages mindst to måneder før.

Indhold:

Elektronindfangning og elektrontab i kollisioner mellem hurtige ioner og statiske atomer

Preben Hvelplund 3

Udviklingen af Bohrs stødteori i perioden 1912-1948

Jens Thorsen 7

Niels Bohr og semiklassisk kollisionsfysikk

Jens M. Bang og Johannes M. Hansteen 12

Fri-elektron laseren –

Næste generation af brillante synkrotronstrålingskilder

Robert Feidenhans'l, Leif Gerward og Janus Staun Olsen . . . 16

Fysikshow i Århus

Kristian Mølhav og Klaus Seiersen 22

Generalforsamling i Selskabet for Naturlærens

Udbredelse

Formandens beretning 26

Det Europæiske Fysiske Selskab

Per-Anker Lindgård 27

Forskningsfinansiering –

en bemærkelsesværdig erfaring fra UK

Sir Arnold Wolfendale 28

Generalforsamling i Dansk Fysisk Selskab

Formandens beretning 30

Forsiden:

Billedet på Kvant's forside viser Niels Bohr under en forelæsning over sin stødteori. Sidste år markerede DFS halvtredseråret for udgivelsen af Niels Bohrs afhandling om "Penetration of Atomic Particles through Matter" i Videnskabernes Selskabs Matematisk-Fysiske Meddelelser (bind 18, nr. 8, 1948) ved et fællesmøde med Videnskabernes Selskab. Afhandlingen sammenfatter Bohrs tanker og erfaringer inden for et emneområde, der interesserede ham gennem hele hans professionelle liv. Historien om afhandlingens tilblivelse under anden verdenskrig er usædvanlig i sig selv, og dens indflydelse på et halvt århundredes forskning inden for atomare kollisioner, strålings- og materialefysik kan næppe overvurderes. Læs de tre artikler på side 3, 7 og 12 i dette nummer!

Elektronindfangning og elektrontab i kollisioner mellem hurtige ioner og statiske atomer

Preben Hvelplund, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet.

De første ioner

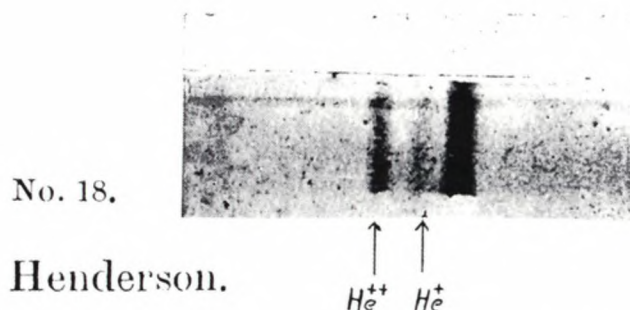
Michael Faraday var den, der første gang brugte ordet **ion** (græsk: gående eller vandrer) som benævnelse for bæreren af elektrisk ladning i gasser og væsker; året var 1839. I sidste halvdel af det nittende århundrede blev disse ioner gjort til genstand for talrige eksperimentelle og teoretiske undersøgelser. Stråler af ioner blev dog først tilgængelige i laboratoriet omkring 1890, i form af, hvad der dengang blev benævnt, *kanalstråler*. Navnet kanalstråle blev anvendt, før strålernes natur var endelig afklaret. De fik deres navn, fordi de passerer gennem en kanal, der blev boret gennem katoden i et udladningsrør. Eksperimenter vedrørende kanalstråler er knyttet til navne som Helmholtz og Wien, der fastslog, at kanalstråler er stråler af positive ioner, der dannes ved ionisering af gassen i udladningsrøret. Wien foreslog, at man kunne efteraccelerere kanalstrålerne i et elektrisk felt for at frembringe stråler af hurtige ioner. Denne idé blev imidlertid opgivet i første omgang, da man fandt ud af, at naturen selv frembringer hurtige, lette ioner i form af, hvad vi i dag kalder alfa(α)partikler eller heliumkerner (He^{++}).

Hurtige ioner

I 1906, kun 10 år efter at Henri Becquerel opdagede, at uransalte udsender α -stråling, kunne Ernest Rutherford rapportere, at man nu kendte en halv snes radioaktive α -emittere. Energien af de udsendte α -partikler er i alle tilfælde ca. 5 MeV, svarende til en hastighed $v = 1.5 \cdot 10^7$ m/s. Rutherford havde også fundet, at α -partiklerne vekselvirker med stof. *Alfapartiklernes hastighed findes at aftage, når de passerer gennem stof*, skrev han i 1906, et år før han flyttede fra Montreal til Manchester. Det var her han i 1910-11 sammen med sine to studerende Hans Geiger og Ernest Marsden udførte de berømte forsøg, hvor α -partikler spredtes på guldatomer. De selv samme forsøg, der førte til forståelsen af, at et atom består af en lille kompakt kerne omgivet af en diffus elektronsky. Som beskrevet i Jens Thorsens indlæg i dette nummer af Kvant var det denne berømte forskerskole, Niels Bohr blev medlem af i 1912.

I 1922 udførte en af Rutherfords unge medarbejdere, G.H. Henderson, nogle forsøg, der viste, at α -partikler kan indfange og tabe elektroner i kollisioner med atomer. Et "liniespektrum", der viser, at α -partikler efter passage af stof også kan optræde som neutrale heliumatomer og enkeltladede heliumioner er gengivet på Figur 1.

I 1938 blev fissionsprocessen opdaget af Otto Hahn og Fritz Strassmann. Fissionsprodukterne, der er tunge højtloadede ioner med energier på ca. 100 MeV, viste sig velegnede til studier af elektronindfangning og elektrontab i kollisioner med atomer. Efter anden verdenskrigs afslutning mistede naturlige α -partikler og fissionsprodukter imidlertid deres betydning som projektiler i atomare kollisionssstudier. Man udviklede accelerators og ionkilder således, at det nu er blevet muligt at frembringe stråler af ioner med ladningstal fra 1 til 100 og med hastigheder fra næsten 0 til lyshastigheden.

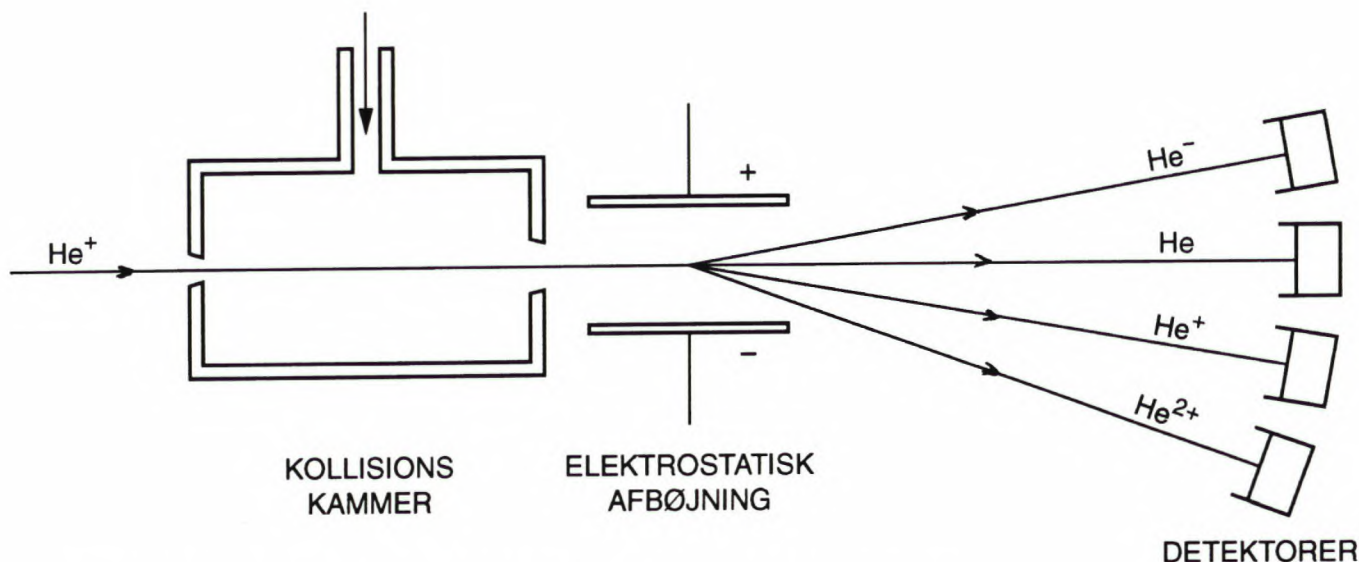


Figur 1. Foto optaget af G.H. Henderson i 1922. Linierne er frembragt ved at bestråle en film med α -partikler efter, at disse først har passeret stof, for derefter at blive sorteret i et magnetfelt. Bemærk, at α -partiklerne eller heliumionerne optræder med forskellige ladningstal (0, 1, 2).

Kollisioner mellem ioner og atomer

I Niels Bohrs afhandling fra 1948 [1] omhandler kapitel 4 *Capture and Loss of Electrons in Atomic Collisions*. Dette arbejde uddybes i 1954 [2] sammen med Jens Lindhard i en afhandling med titlen *Electron Capture and Loss by Heavy Ions Penetrating through Matter*. I det følgende vil jeg diskutere dele fra kapitel 4 og afhandlingen fra 1954. Nyere målinger af elektronindfangning og tab vil blive inddraget i denne diskussion, da de udgør et bedre sammenligningsgrundlag end de sparsomme eksperimentelle resultater, der var til rådighed i 1948.

På figur 2 vises princippet i et moderne ladningsskifteeksperiment. En monoenergetisk stråle af He^+ ioner fra en accelerator vekselvirker med en statisk heliumgas, og man måler intensiteten af He^{++} og He^+ ioner samt intensiteten af He atomer og He^- ioner efter passage af gassen. Strålen skilles i sine forskellige bestanddele i et elektrostatisk felt, og de enkelte dele registreres i partikeldetektorer. "Sandsynligheden" for



Figur 2. Typisk eksperimentel opstilling for måling af elektronindfangnings- og -tabstværsnit.

ladningsskift i kollisionerne angives ved de såkaldte tværsnit, og man anvender σ som udtryk for tværsnittet. Hvis He^{++} -strålen er relativt intens efter passage af heliumgassen, er elektronabstsværsnittet stort, og hvis heliumstrålen er relativt intens, er elektronindfangningstværsnittet stort.

I indledningen til kapitel 4 skriver Bohr bl.a.: *I modsætning til elektrontab, som kan sammenlignes med en simpel ionisationsproces, er elektronindfangningen klart et mere kompliceret fænomen, der involverer mindst tre partikler, som f.eks. to kerner og en elektron.* Jeg vil kort gennemgå Bohrs udledning af formelen for det "simple" elektrontabstværsnit og overlade en gennemgang af teorien bag det mere komplicerede elektronindfangningstværsnit til eventuelt selvstudium for den interesserede læser.

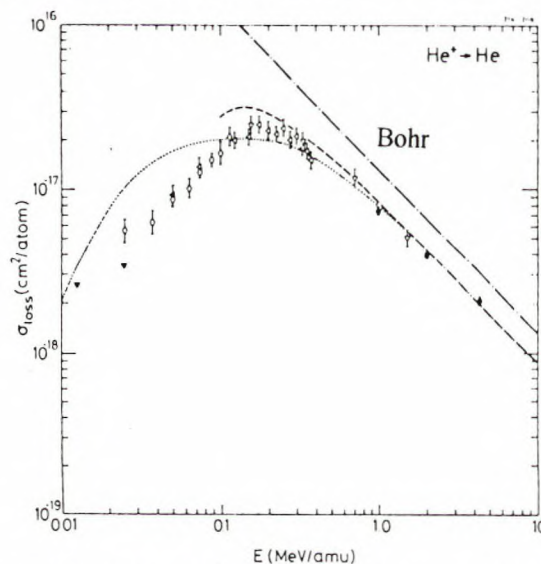
Elektrontab i ion-atom kollisioner

Vi vælger at betragte elektrontab i en kollision mellem en He^+ ion med hastighed v og et stillestående heliumatom. Hastigheden kunne typisk være $\sim 1.5 \cdot 10^7$ m/s, svarende til hastigheden af en 5 MeV heliumion. Efter at have overbevist sig om, at $\kappa < 1$ (se Jens Thorsens artikel), og at v er meget større end banehastigheden af heliumatomets elektroner, når Bohr frem til, at He^+ ionen effektivt støder mod to frie, stillestående elektroner og en stillestående heliumkerne. Med andre ord, vi kan i denne tilnærmelse se bort fra heliumatomets interne struktur og betragte det som tre stillestående, frie partikler. Ved at anvende Rutherfords tværsnit for energioverførsel i kollisioner mellem ladede partikler, når Bohr frem til, at tværsnittet for elektrontab ved omtalte proces kan skrives som følger:

$$\sigma_{\text{tab}} = 4\pi a_0^2 \frac{Z_2^2 + Z_2}{Z_1^2} \left(\frac{v_0}{v} \right)^2. \quad (1)$$

Her er a_0 den såkaldte Bohr-radius og v_0 den såkaldte

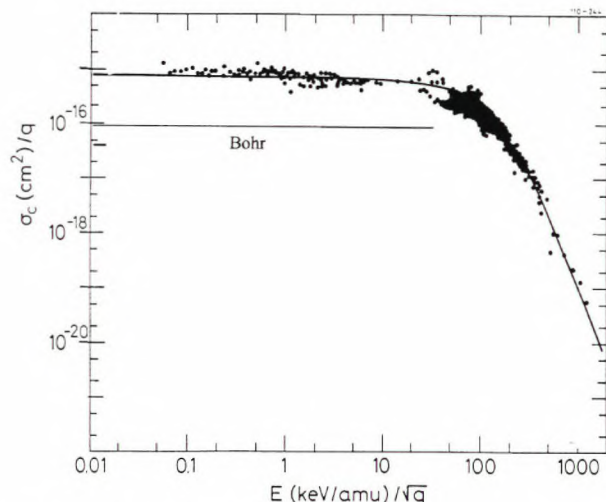
Bohr-hastighed. (Baneradius og elektronhastighed for en elektron i grundtilstanden i et brintatom i Bohrs beskrivelse). Z_1 og Z_2 er atomnumrene for hhv. projektilet og det stillestående atom. (I vores eksempel er de begge lig 2). Denne formel har, som angivet ovenfor, ikke generel gyldighed, men Bohr gør meget ud af at specificere præcis, hvornår den kan anvendes. På



Figur 3. Elektrontabstværsnit for He^+ ioner, der støder ind i heliumatomer. Punkterne refererer til eksperimentelle værdier og kurverne til teoretiske beregninger. Kurven, der refererer til Bohrs arbejde, var kun tænkt at være gyldig for store energier [3].

den anden side er det vigtigt at understrege, at formelen gælder for andet end 5 MeV He^+ ioner. Vi ser bl.a., at elektrontabstværsnittet aftager omvendt proportionalt med ionens hastighed. I figur 3 er Bohrs teoretiske værdier for elektrontabstværsnittet indtegnet, sammen med nyere eksperimentelle værdier og nyere teoretiske kurver [3]. Man bør især bemærke, at tværsnittets

hastighedsafhængighed inden for gyldighedsområdet er korrekt gengivet, og at selv den absolutte værdi er forholdsvis præcis beregnet af Bohr.



Figur 4. Elektronindfangningstværsnit for højtloadede ioner, der støder ind i H atomer. Punkterne refererer til eksperimentelle værdier. Kurven, der refererer til Bohrs arbejde, var kun tænkt at være gyldig for små værdier af energi divideret med kvadratroden af ladningstallet q .

Elektronindfangning i ion-atom kollisioner

Man kunne fra det ovenstående få det indtryk, at elektronindfangning, som det er tilfældet for hurtige heliumprojektiler, altid er en kompliceret proces at forstå. Dette er ingenlunde tilfældet. Som illustreret i Bohr og Lindhards afhandling fra 1954 er elektronindfangning i kollisioner mellem højtloadede ioner og lette atomer en forholdsvis enkel proces at beskrive. De projektilioner, Bohr og Lindhard især havde i tankerne, var de omtalte fissionsfragmenter. Nyere eksperimentelle undersøgelser har bekræftet, at teorien har mere generel gyldighed. Lad os her tænke på en højtloadet ion som f.eks. Ar^{16+} , der i dag forholdsvis let lader sig fremstille og bringes til at kolliderer med f.eks. et brintatom (H) ved moderate hastigheder ($v \sim 10^6$ m/s). Idet vi med Bohr og Lindhard tænker os, at den højtloadede ion langsomt nærmer sig brintatomet, kan man ud fra Coulombs lov finde den afstand mellem brintatomet og ionen, hvor kraften på elektronen, stammende fra den højtloadede ion, overstiger den kraft protonen udøver på elektronen. Denne afstand kaldes frigørelsesafstanden R_f . Kravet om, at elektronen frigøres er imidlertid ikke tilstrækkeligt til også at sikre, at den indfanges af den højtloadede ion, der jo bevæger sig med hastigheden v . Man må stille det yderligere krav, at elektronens potentielle energi i den højtloadede ions hvilesystem i frigørelsesøjeblikket er numerisk større end elektronens kinetiske energi i samme system. Denne betingelse definerer på forholdsvis simpel vis en såkaldt indfangningsafstand R_i . Ved at indføre et simpelt geometrisk

indfangningstværsnit

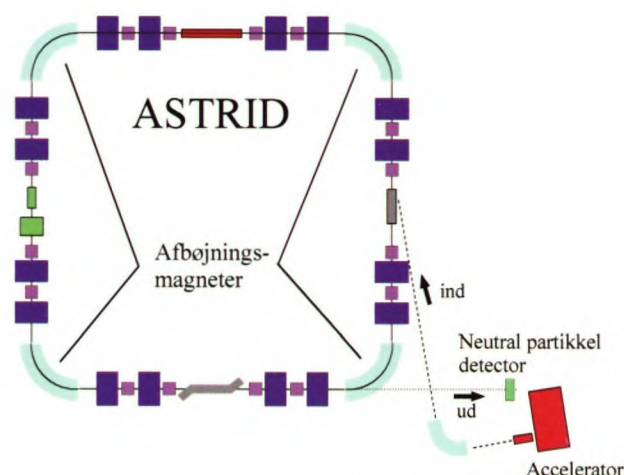
$$\sigma_{indf} = \pi \cdot R_f^2, \quad (2)$$

der gælder for $R_f < R_i$, når Bohr og Lindhard frem til et udtryk for indfangningstværsnittet, der ved lave hastigheder er uafhængigt af hastigheden og kan skrives på følgende form:

$$\sigma_{indf} = \pi \cdot a_0^2 \cdot q, \quad (3)$$

hvor q er den højtloadede ions ladningstal, i vores eksempel 16.

På figur 4 vises eksperimentelle værdier for indfangningstværsnittet sammen med en kurve, der relaterer til Bohr-Lindhard teorien som her beskrevet [4]. Det bør nævnes, at man med forholdsvis enkle argumenter, som anført i den omtalte afhandling, også kan forstå tværsnittets voldsomme hastighedsafhængighed ved større hastigheder.



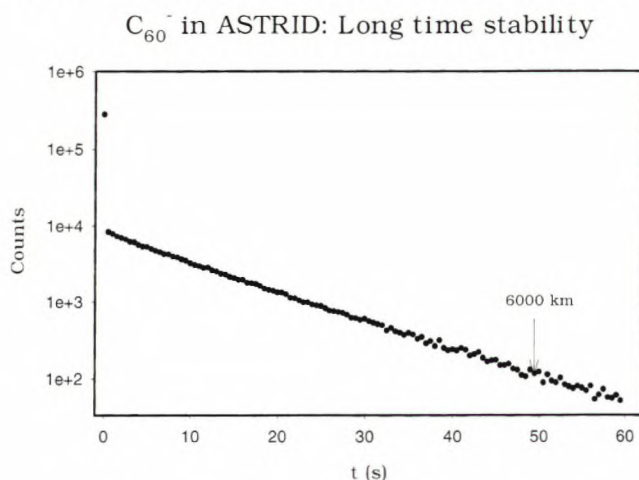
Figur 5. Lagerringen ASTRID. Der er vist, hvorledes ioner skabes og accelereres i en accelerator, hvorefter de sendes ind i ringen, hvor de afbøjes i fire dipolmagneter. Strålens "henfald" måles ved at registrere intensiteten af udsendte neutrale partikler som funktion af den tid, der er forløbet efter injektion af en given mængde ioner.

Det skal understreges, at jeg har valgt at gennemgå Bohrs argumenter i to tilfælde, som er relativt let tilgængelige. I det ene eksempel diskuteres, hvorledes elektrontabsprocesser kan beskrives for hurtige, lette ioner, der kolliderer med lette atomer, og i det andet eksempel diskuteres elektronindfangning i kollisioner mellem højtloadede ioner og lette atomer. Man kan imidlertid ved et nøjere studium af de to afhandlinger få et ganske godt overblik over tværsnittene for de to processer i et bredt hastighedsområde og for vilkårlige kombination af størrelsen af de to kolliderende atomare partikler.

Udviklingen gennem de sidste 50 år

Elektronindfangning og elektrontab i atomare kollisioner har været studeret intensivt, især efter udgivelsen

af Bohrs afhandling i 1948. Udviklingen inden for acceleratorteknologien har bevirket, at vi i dag har målinger af tværsnit for elektronindfangning og -tab for næsten alle tænkelige atomare kollisionssystemer. Det undersøgte energiområde strækker sig fra termiske energier til de største energier, man kan opnå i accelerators, som dem man finder på CERN ved Genève. Den teoretiske beskrivelse af elektronindfangning og -tab har også – i takt med udviklingen af mere sofistikerede teoretiske modeller og fuldt kvantemekaniske beskrivelser – nået et stade, hvor man må sige, at disse processer nu i det store og hele er forstået. Tværsnittene anvendes idag i andre grene af fysikken og i mere teknologiske sammenhænge. Der kan nævnes talrige eksempler, men lad os her nøjes med at fremhæve fusionsforskning og astrofysik som flittige aftagere af elektronindfangning og -tabstværsnit. Der publiceres i dag evaluerede tabeller, som angiver tværsnit med henblik på brug inden for disse mere anvendelsesprægede områder.



Figur 6. “Henfaldskurve” for C_{60}^- ioner i lagerringen ASTRID. Trykket i ringen er $2 \cdot 10^{-11}$ mbar, men elektrontabsprocesser bevirker, at ionernes middellevetid alligevel kun er 7 sekunder.

Lad mig slutte med et aktuelt eksempel på anvendelse af viden om elektronindfangning og -tabskollisioner. I tungionslagerringe og ionfælder ønsker vi at opbevare ioner i længere tid, dels for at studere deres “langtidsholdbarhed”, dels for at accelerere ionerne til meget høje energier. Figur 5 viser et “billede” af lagerringen ASTRID ved Aarhus Universitet [5]. Længden af den tid en given ion kan opbevares i, f.eks. en lagerring, er som regel bestemt af ionens elektronindfangnings- eller -tabstværsnit, idet et ladningsskift i en kollision med et såkaldt restgas atom tvinger ionen til at forlade lagerringen. Størrelsen af tværsnittene for ladningsskift er således direkte bestemmende for, hvor lang tid man kan lagre en ion i en lagerring eller i en ionfælde.

I figur 6 vises, hvorledes C_{60}^- ioner “henfalder” i lagerringen ASTRID på grund af kollisioner med de

ganske få brintatomer, der trods ihærdig pumpen stadig findes i lagerringen [6]. Som det fremgår af figuren, når nogle få ioner at gå (husk den græske betydning af ordet ion) 6000 km, inden de kolliderer med et brintatom og eventuelt taber elektronen. Dette eksempel illustrerer på bedste vis, at så længe fysikere finder det interessant at lade ioner vandre, så længe vil der være brug for en god forståelse af de kollisionsprocesser, der så minutiøst og pædagogisk blev behandlet af Niels Bohr i den afhandling, vi i dag kalder “Bohrs bog”.

Referencer:

- [1] N. Bohr (1948), “The Penetration of Atomic Particles through Matter”, Mat.Fys.Medd. Dan.Vid.Selsk., bind **18**, nr. 8.
- [2] N. Bohr og J. Lindhard (1954), “Electron Capture and Loss by Heavy Ions Penetrating through Matter”, Mat.Fys.Medd. Dan.Vid.Selsk., bind **28**, nr. 7.
- [3] H. Knudsen, L. H. Andersen, H. K. Haugen og P. Hvelplund (1982), “Electron Loss from Fast One-Electron Ions Colliding with He, N₂, and Ar”, Physica Scripta, bind **26**, side 132.
- [4] R. K. Janev og P. Hvelplund (1981), “On the Cross-Section Scaling Laws for Charge Exchange Ionization, and Electron Loss in Atom – Highly-Charged-Ion Collisions”, Comments At.Mol.Phys., bind **11**, side 75.
- [5] S. P. Møller (1993), “The Aarhus Storage Ring for Ions and Electrons ASTRID”, i Proc. IEEE Particle Accelerator Conference, Washington, DC, red. af S. T. Corneliussen (IEEE, Piscataway, N.J.).
- [6] P. Hvelplund, J. U. Andersen og K. Hansen (1999), “Clusters in Storage Rings”, Proc. CP457, Trapped Charged Particles and Fundamental Physics, red. af D. H. E. Dubin og D. Schneider, The American Institute of Physics, side 220.



Preben Hvelplund er docent ved Institut for Fysik og Astronomi ved Aarhus Universitet.

Udviklingen af Bohrs stødteori i perioden 1912-1948

Jens Thorsen, Europaskolen, Luxembourg.

Niels Bohrs afhandling "The Penetration of Atomic Particles through Matter" fra 1948 [1] har spillet en meget betydende rolle for udviklingen inden for atomare kollisioner, strålings- og materialefysik, og det er den af alle hans afhandlinger, som i dag oftest citeres. Bohrs første afhandling om stødproblemer blev publiceret allerede i 1913, og han bevarede hele livet igennem en stærk interesse for dette område af fysikken. Jeg vil her beskrive, hvorledes mange af de emner, som behandles i 1948-afhandlingen, faktisk var fundet af Bohr mange år tidligere, og hvorledes forskellige omstændigheder forpurrede en tidligere offentliggørelse. Afhandlingen er blevet betragtet som en bibel for området, idet den giver en udtømmende beskrivelse af det stade, som forskningen af atomare kollisioner befandt sig på i midten af 40'erne. Ydermere er den interessant på grund af Bohrs egen beskrivelse af den historiske udvikling, i hvilken han jo selv spillede en meget stor rolle.

Manchester 1912

Bohrs første afhandling om stødteori [2] kom til verden i Manchester i juni 1912. Bohr havde året før forsvaret sin doktorafhandling om metallernes elektron-teori og valgte derefter at rejse til Cambridge, hvor elektronens "fader" J. J. Thomson var leder af Cavendish-laboratoriet. Han så frem til diskussioner med Thomson om indholdet af disputatsen, men det blev ikke rigtigt til noget, og i marts 1912 rejste han videre til Manchester for at arbejde hos Ernest Rutherford. Her blev han til slutningen af juli, og disse måneder skulle vise sig at blive yderst frugtbare.

Som sædvane var i Manchester blev Bohr sat i gang med en række eksperimentelle øvelser i radioaktivitet, hvilke blandt andet omhandlede absorption af α - og β -partikler ved passage gennem stof og variationen af β -strålers aktivitet med tiden. I slutningen af maj 1912 måtte Bohr holde fri fra laboratoriet, da han ventede på en sending radium til sine forsøg. Derved fik han tid til at beskæftige sig med en artikel af C. G. Darwin om α -partiklers stopning i stof, som netop var publiceret i Philosophical Magazine [3]. Bohr skrev til sin forlovede Margrethe Nørlund den 4. juni, at han havde travlt, for "jeg venter nemlig Fremmede i Aften, ...en ung, meget dygtig Matematiker C. G. Darwin (Sønnesøn af den rigtige Darwin), ...men det kan maaske dog komme til at gaa varmt til, for jeg er ikke sikker paa, at vi er enige (Tys!!)". En uge senere skrev han til sin bror Harald, at "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

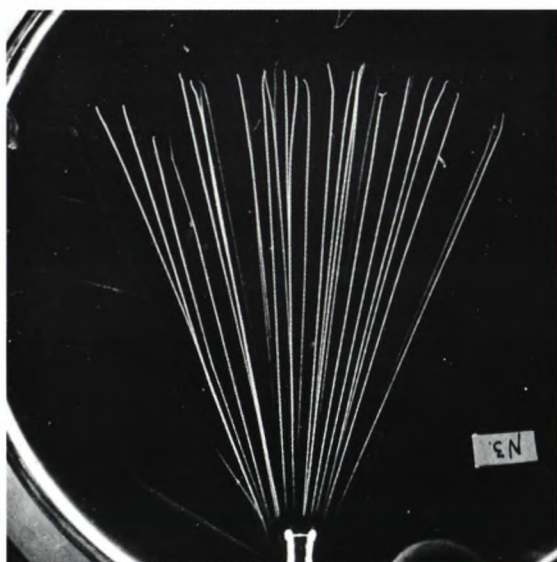


Figur 1. Bohr forelæser om sin stødteori. Foto: Niels Bohr Arkivet.

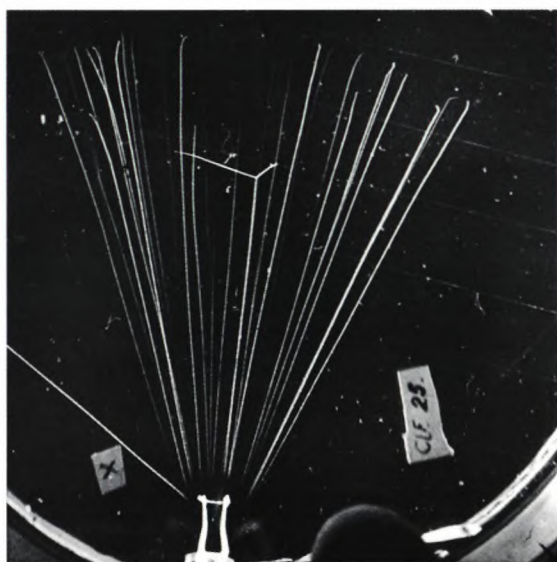
α -Straaler... C. G. Darwin har lige offentliggjort en Theori om dette Spørgsmaal, og jeg syntes, at den ikke alene ikke var helt rigtig i det mere matematiske (det var dog kun temmelig lidt), men meget utilfredsstillende i Grundopfattelsen, og har udarbejdet en lille Theori derover, der selv om den er meget lille, maaske dog kan kaste lidt Lys over nogle Ting med Hensyn til Atomernes Bygning. Jeg tænker meget snart at offentliggøre en lille Afhandling derom". Og igen til Harald den 19. juni: "Det kunde være, at jeg maaske har fundet ud af en lille Smule om Atomernes Bygning. Du maa ikke tale om det til nogen, for ellers kunde jeg jo ikke skrive saa tidlig til Dig om det... Det er altsammen vokset ud af en lille Oplysning jeg fik fra α -Straalernes Absorption. Du forstaar jo at jeg endnu kunde tage Fejl, for det er ikke helt arbejdet ud endnu (jeg tror det dog ikke); jeg tror heller ikke, at Rutherford mener, at det er helt vildt."

Bohrs "lille Theori" om stopning af ladede partikler ved gennemtrængning af stof var færdigskrevet i løbet af juni måned, men blev først publiceret i januar 1913, da Bohr afventede en række nye målinger

af α -partiklers hastighed. Men hvad er det for en lille oplysning fra α -strålernes absorption, som har fået ham til at kaste sig over spørgsmålet om atomernes bygning?



Figur 2. Spor efter α -partikler. Tågekammerbillede taget af J. K. Bøggild. Foto: Niels Bohr Arkivet.



Figur 3. En α -partikel kolliderer med en atomkerne. Tågekammerbillede taget af J. K. Bøggild. Foto: Niels Bohr Arkivet.

Darwin havde brugt to grundlæggende antagelser. For det første betragtede han en atomar elektron som fri under stødet, da α -partiklens hastighed er så stor, at atomets bindingskræfter ikke når at komme i spil, før α -partiklen er væk. For det andet antog han, at en α -partikel kun mister energi, når den trænger igennem et atom. Den sidste antagelse er nødvendig, da man ellers ved udregningen af en α -partikels middelenegitab vil få et uendeligt stort energitab. Darwins resultat var en formel, som kvalitativt gav gode resultater, men ikke kvantitativt.

Bohrs uenighed med Darwin gik netop på disse

to antagelser. Det kunne ikke være rigtigt at se bort fra elektronernes bindingskræfter i atomet under stødet og at vælge atomets radius som grænse for, hvornår der sker en energioverførsel fra α -partikel til elektron. Derfor forkastede Bohr disse to antagelser, men måtte nødvendigvis indføre en ny grænseafstand for at få en endelig energioverførsel. Bohr gav den 26. september 1912 et foredrag i Fysisk Forening i København med titlen "Om Absorption af α - og β -Straaler", hvor han på fremragende pædagogisk vis gjorde rede for sine antagelser.

Det væsentlige nye punkt i Bohrs behandling af stødproblemer var indførelsen af en perturbationsbehandling af fjerne stød, som tillod ham at betragte atomare elektroner som harmoniske oscillatorer, og som igen betød en simpel håndtering af bindingskræfterne i atomet. Herved kunne han indføre en dynamisk cut-off afstand i modsætning til Darwins brug af atomradius. I sit foredrag siger Bohr:

"Jeg skal nu vise, hvorledes man paa simpel Maade kan finde en naturlig Grændse for Virkningen af Elektronerne paa de bevægede Partiklers Hastighed ved at tage de Kræfter, hvormed Elektronerne holdes paa deres Plads indenfor Atomet, i Betragtning.

Under Indflydelse af disse Kræfter vil Elektronerne faa en Art svingende Bevægelse, dersom de bringes ud af deres Ligevægtsstilling (eller deres Baner) ved en Paavirkning udefra. Til denne svingende Bevægelse vil svare en bestemt Svingningstid, der imidlertid kan være meget forskellig for Elektronerne i de forskellige Atomer, ja endda for de forskellige Elektroner indenfor samme Atom. Ved de Sammenstød mellem Partiklerne og Elektronerne, ved hvilke Partiklerne kommer meget nær til Elektronerne, vil Tiden for Sammenstødet være meget kort. Ved Tiden for Sammenstødet skal forstaas den Tid, i hvilken Kræfterne mellem Partiklerne og Elektronen er af samme Størrelsesorden som i det Øjeblik, i hvilket Partiklen og Elektronen er hinanden nærmest.

Er Sammenstød tiden nu ringe i Sammenligning med den pågældende Elektrons Svingningstid, vil Energioverføringen mellem Partiklen og Elektronen meget nær være den samme som om Elektronen var fri paa samme Maade som den Bevægelsesenergi, der tilføres et Pendul ved et Hammerslag kan beregnes som om Pendulet var fri, idet de Kræfter, hvormed Pendulet søger tilbage til sin Ligevægtsstilling, slet ikke vil have Tid til at virke før det korte Stød er forbi.

Betrakter man saadanne Sammenstød, ved hvilke Partiklen er saa langt borte fra Elektronen, at Sammenstød tiden er meget lang i Sammenligning med Svingningstiden, vil Energioverføringen til Elektronen være overordentlig ringe, svarende til, at det ikke er muligt at sætte en Stemmegaffel i Sving ved et jævnt Tryk med en Finger, hvor haardt man end vilde trykke."

Energioverførslen afhænger derfor af de bundne elektroners svingningsfrekvenser, og Bohr kunne udlede

sit velkendte udtryk for energitabet pr. længdeenhed:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{4\pi e^2 E^2 N}{mV^2} \sum_{s=1}^n \log \frac{V^3 k m M}{2\pi v_s e E (M + m)} \quad (1)$$

Her betegner V partiklens hastighed, M og E dens masse og ladning, m og e elektronens masse og ladning, N antallet af targetatomer pr. volumenenhed, v_s frekvensen af elektron nummer s i et atom med i alt n elektroner, og k er en konstant, som Bohr fandt til at have værdien 1,123.

Det er nu muligt at se, hvilken oplysning Bohr kan bruge i spørgsmålet om atomernes bygning. Ved sammenligning med eksperimentelle resultater skal han bruge frekvensen v_s , og den hentede han fra dispersionsteorien, der beskriver, hvorledes lys afbøjes ved gennemgang af stof. Bohr forklarede i sit foredrag:

"Det viser sig nu ogsaa virkeligt, at man udfra de Oplysninger, som Theorien for Dispersion giver om Antallet af Elektroner i Atomerne og om deres Frekvenser teoretisk kan beregne Absorptionen af α -partikler i meget nær Overensstemmelse med Forsøgsresultaterne for de Stoffers Vedkommende, der har de laveste Atomvægte, nemlig Brint og Helium.

At en saadan Overensstemmelse ikke finder Sted for de højere Atomvægtes Vedkommende hidrører fra, at den Ligning, der udtrykker Dispersionens Afhængighed af Frekvensen og den der udtrykker Partiklernes Hastighedstabs Afhængighed af denne, paa grund af Fænomenernes i saa mange Henseender vidt forskellige Karakter er meget forskellig. Medens saaledes Elektronernes Indflydelse paa saavel Refractionen (for alm. Lys) som paa Absorptionen af α -Straaler aftager med voksende Frekvens, er Aftagningen uhyre meget hurtigere for Refractionens Vedkommende. Elektroner med høj Frekvens vil derfor saa godt som ingen Indflydelse have paa Refractionen, og Forsøgene giver os derfor kun Oplysninger om Frekvenserne for et ringe Antal af de langsomst svingende Elektroner i hvert Atom.

For α -Straalernes Vedkommende vil derimod Elektroner med langt højere Frekvenser endnu have betydelig Indflydelse paa Straalernes Absorption. Studiet af denne Absorption vil derfor i højere Grad end Studiet af de optiske Fænomener være i Stand til at oplyse os om de hurtige Svingningstider for Elektronerne i det Indre af Atomerne og derigennem maaske give os Oplysninger om Atomernes indre Bygning."

Bohr fandt for de lettere stoffer en overensstemmelse inden for ganske få procent, men var klar over, at en diskussion af sammenhæng mellem frekvenser og dimensioner af elektronbaner for elektronerne i det indre af atomerne var nødvendig for at komme videre: "Dette og lignende Spøragsmaal, som jeg er kommet ind paa gennem Theorien for α -Straalernes Absorption, har ledet mig ind paa Undersøgelser over Atomers og Molekyleres Opbygning. Jeg haaber om ikke for lang Tid at være i Stand til her i Foreningen at forelægge

Dem nogle Resultater." Vi ser, at det var stødteorien, der banede vej for hans berømte Trilogi om atomernes bygning, som blev færdiggjort på mindre end et år.

Bohr havde i sit foredrag også givet følgende beskrivelse af energitab: *"Partiklernes Hastighedstab kan imidlertid ogsaa forklares simpelt derigennem at Elektronerne paa grund af de fra Partiklen udgaaende tiltrækkende Kræfter vil nærme sig Partiklens Bane, og i Middel være nærmere denne Bane efter Sammenstødene end umiddelbart før disse. Elektronerne vil saa at sige samle sig i Hælene paa Partiklerne og vil derfor paa Grund af deres Tiltrækning udøve bremsende Kræfter paa dem."*

Manchester 1915

Det var vanskeligt for Bohr at finde en stilling i København, og i oktober 1914 vendte han tilbage til Rutherford i Manchester, hvor han blev i næsten 2 år. Han kom hurtigt ind i de gamle tanker om stødteori, og i maj 1915 havde han afsluttet en ny, stor artikel om absorption af α - og β -stråler [4]. Sammenligning mellem eksperiment og teori havde stemt fint for α -stråler i 1912, men ikke så godt for β -stråler. En β -partikels ringe masse betyder, at den ved gennemtrængning af stoffer bliver spredt i alle mulige retninger. Derfor er den faktiske vejlængde ikke lig med den målte vejlængde i modsætning til α -partiklerne, der på grund af deres store masse stort set har den samme rækkevidde. Bohr behandlede derfor partiklernes stragling, dvs. den statistiske fluktuation i rækkevidde og energitab for de enkelte partikler. Resultatet var, at β -partiklernes energitab udgøres af en Gaussfordeling med en hale mod større energitab. Dette skyldes, at en β -partikel ved et sammenstød med en elektron kan miste hele sin energi i et enkelt stød, og derfor er betingelsen for en ren Gaussfordeling ikke opfyldt. Bohr beregnede den korrektion, som var nødvendig at indføre for at gøre rede for relativistiske partiklers energitab, og han prøvede også at give en forklaring af ionisation. Problemet var, at den beregnede ionisation var betydelig mindre end den målte ionisation, og Bohr prøvede at forbedre teorien ved at tage sekundær ionisation i betragtning. Det hjalp ikke meget, og Bohr var klar over, at indførelsen af stationære tilstande i hans atommodel fra 1913 medførte alvorlige problemer for stoppeteorien. En nærmere beskrivelse af denne problemstilling blev udeladt for ikke at gøre artiklen for lang, men i et kollokvium givet i Manchester den 19. februar 1915 nævnte Bohr problemet, men håbede, at problemet kun var tilsyneladende.

1925-1940

Med fremkomsten af den nye kvantemekanik i 20'erne måtte der naturligvis også ske noget indenfor stødteorier. Bohr havde i 1925 publiceret en artikel om atomers opførsel i sammenstød, baseret på de

ideer, som var fremsat i en afhandling af Bohr, Kramers og Slater i 1924 [5], herunder blandt andet opgivelse af streng impuls- og energibevarelse. Da disse ideer ret hurtigt blev gendrevet, var Bohr mest stemt for at trække sin artikel tilbage, man blev dog overtalt til at lade være og publicerede den i et tilskrift [6]. Heri gør han gang på gang opmærksom på, at man på grund af de stationære tilstande er nødt til at opgive enhver beskrivelse af sammenstød i rum og tid baseret på de sædvanligvis accepterede ideer i teorien om atomernes bygning.

parameter, senere kaldt κ af Bohr, var størrelsen

$$\kappa = \frac{2Ee}{\hbar V}. \quad (3)$$

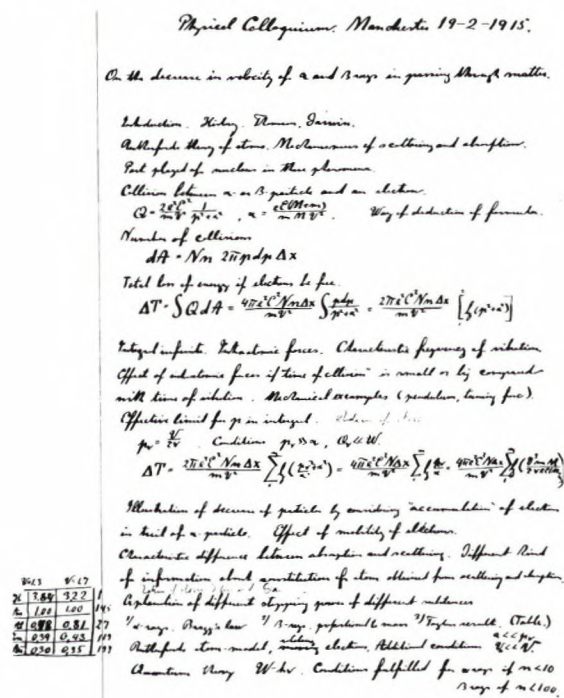
Hvis $\kappa \gg 1$ gælder Bohr, hvis $\kappa \ll 1$ gælder Bethe, og for $\kappa = 1$ går de to formler over i hinanden. Blochs artikel blev publiceret i 1933 [7], og han henviste til en artikel af Bohr, der snart ville blive publiceret. Som Bloch senere bemærkede, betød snart i denne sammenhæng 16 år! I Bohrarkivet finder man udkast til en sådan artikel, hvori anvendeligheden af hhv. en klassisk og en kvantemekanisk behandling som funktion af parameteren κ behandles.

En ny gæst dukkede op i september 1933 og blev i godt et år. Det var den walisiske fysiker E. J. Williams, som siden sit første studium i 1926 af Bohrs klassiske afhandlinger fra 1912 og 1915 havde arbejdet videre inden for området. Williams var især interesseret i grænseområdet, hvor den klassiske mekanik stadig har sin gyldighed, men hvor den kvantemekaniske beskrivelse langsomt begynder at spille ind. Bohr planlagde sammen med Williams en fælles artikel med titlen: "Application and Limitation of Space-Time Considerations in Collisions", og i et udkast til artiklen gøres der specielt opmærksom på den kendsgerning, at Rutherford-formlen er nøjagtig ens i både den klassiske og den kvantemekaniske version, et faktum som i lang tid skjulte de virkelige begrænsninger af en klassisk behandling af stød.

Denne artikel blev heller aldrig publiceret, men Bohr talte ofte om emnet i forelæsninger og på rejser. En hindring var naturligvis, at man overvejende kun havde α - og β -partikler til rådighed som partikler, og det var derfor vanskeligt at undersøge det klassiske tilfælde med $\kappa \gg 1$, som Bohr allerede i 1932 gjorde opmærksom på. Men med fissionens opdagelse i slutningen af 1938 opstod der pludselig en ny situation. Fissionsfragmenterne havde nemlig store ladninger, som gjorde κ større end 1, og man havde derfor pludselig en ny mulighed for at undersøge dets betydning for stødprocesser. De første tågekammerbilleder af fragmenter viste da også en tydelig forskel fra α - og β -partiklernes baner. Sporene var mere eller mindre krumme, og man kan se et stort antal forgreninger, som udgår forskellige steder fra sporet, nemlig som et resultat af et sammenstød med en kerne i den gas, som var i tågekammeret. De to fissionfragmenters spor var også af forskellig længde på grund af de to fragmenters forskellige energier.

1940-1948

Bøggild, Brostrøm og Lauritzen arbejdede på Bohr-Instituttet med studier af fissionfragmenters spor i et tågekammer, og de publicerede resultatet af deres arbejde i sommeren 1940 [8]. Samtidig skrev Bohr den første af i alt tre artikler til *Physical Review* i 1940 [9], hvori han gjorde rede for de resultater, som Bøggild,



Figur 4. Side af Bohrs manuskript fra kollokviet i Manchester 19. februar 1915.

Born publicerede sin velkendte approimationsmetode for stød i sommeren 1926, og Wentzel viste i november 1926, at den fører til Rutherford's spredningslov. Hans Bethe publicerede i 1930 sin artikel om stødteori, og heri fandt han et udtryk for energitabet, der simplificeret til det tilfælde, hvor alle elektroner har den samme frekvens, ser således ud:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{4\pi e^2 E^2 N Z}{m V^2} \log \frac{2mV^2}{h\nu}, \quad (2)$$

og som afviger fra Bohrs klassiske formel i logaritmeleddet. Den svejtsiske fysiker Felix Bloch kom i oktober 1931 til København på et seks-måneders ophold. I følge eget udsagn havde han ikke interesseret sig nævneværdigt for stødteori, inden han kom til København, men gennem mange diskussioner med Bohr om anvendeligheden af klassiske billeder til beskrivelse af stødfænomener blev han så interesseret, at han udledte en formel, der som to grænsetilfælde indeholdt hhv. Bohrs og Bethes formler. Den afgørende

Brostrøm og Lauritzen havde fundet. Den afgørende forskel fra forsøgene med α - og β -partiklerne er den rolle, som kernestød nu indtager, og den afskærmende virkning, som de bundne elektroner har for den effektive ladning. I de klassiske afhandlinger havde Bohr negligeret bidraget til energitabet fra partiklernes sammenstød med targetkernerne, men nu bidrager de med et ekstra led i stoppeformlen. Disse ideer blev beskrevet mere detaljeret i de næste to artikler til *Physical Review*, og Bohr refererede til en mere udtømmende forklaring, som snart ville blive bragt i en afhandling i *Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskabs Meddelelser*. Bohr reserverede derfor plads i det kommende bind, men da den som bekendt først blev publiceret i 1948, bærer bind 18 årstallet 1940-48, medens bind 19 har 1941-42!

Bohr arbejdede ihærdigt med at færdiggøre artiklen, men de ydre rammer på grund af tyskernes besættelse af Danmark gjorde hverdagen besværlig. Da en højspændingstransformator på Institutet brød sammen, måtte den sendes til Odense til reparation, men Storebælt var frosset til i den strenge vinter i 1941, og det varede adskillige måneder, før man kunne genoptage arbejdet. Ligeledes var det et problem at skaffe råfilm til optagelserne af stødprocesserne i tågekammeret, men her lykkedes det Rozental og Bøggild at skaffe flere tusinde meter kinofilm ved snedigt at bruge tyskernes clearingkonto.

Bohr havde startet arbejdet med den store afhandling i juli 1940, og i Bohrarkivet finder man omkring 2000 sider, som har med den at gøre. Rozental hjalp Bohr med arbejdet, og han har i sin erindringsbog [10] fortalt om, hvorledes arbejdet skred frem. Det var begyndt med en forklaring af de nye tågekammerbilleder af fissionsfragmenternes spor, men var blevet til en meget mere generel behandling af stødproblemer. Der var utallige kladder, koncepter og renskrifter, som Rozental forsynede med dato og nummer for at kunne holde rede på dem, og ofte blev der på en og samme dag skrevet flere forskellige udkast. Afhandlingen var stort set færdig i september 1943 og svulmet op i omfang til næsten 150 sider.

Men situationen strammede til i Danmark, og Bohr fik midt i september 43 oplysninger om, at Rozental var i fare for at blive arresteret af tyskerne. Der blev derfor sørget for, at Rozental kunne komme til Sverige, og overfarten fandt sted om natten den 25. september fra Vedbæk. Bohr havde bedt Rozental om at tage den store afhandling med, således at den kunne komme i sikkerhed. I forvirringen glemte Rozental sin mappe med manuskriptet på stranden, men den blev næste morgen fundet af modstandsfolk, som var på stranden for at slette sporene efter nattens flugt. Mappen blev sendt til Sverige med en ny flygtningetransport, men dukkede aldrig op. Rozental fortæller, at den sikkert blev stjålet, fordi den også indeholdt nogle dengang sjældne beklædningsgenstande som en regnfrakke og varme vanter. Bohr selv måtte flygte til Sverige den 29. septem-

ber, og da han der traf Rozental, spurgte han straks til afhandlingen. Heldigvis var der stadig en kopi på Bohrs kontor i København, men uden formler og rettelser, og ved hjælp af det svenske gesandtskab i København blev manuskriptet sendt med kurerpost til Stockholm, hvor Rozental så efter hukommelsen indføjede de manglende elementer.

Da Bohr vendte tilbage til København i slutningen af august 1945, varede det ikke længe, før han atter begyndte at beskæftige sig med stoppeafhandlingen. Han havde i den mellemliggende tid tænkt over problemerne og meddelte Rozental, at nu var det tid at starte forfra og skrive det hele om! Det gik dog forholdsvis hurtigt, men trykningen viste sig at tage betydelig længere tid end beregnet, og afhandlingen var først færdigtrykt den 17. december 1948.

I dette nummer af *Kvant* diskuterer Preben Hvelplund, Jens Bang og Johannes M. Hansteen afhandlingen og gør nærmere rede for dens betydning for udviklingen inden for atomare kollisioner. Den er blevet en standard reference inden for dette område, og dens store styrke ligger i den grundige analyse som den giver af grundlæggende problemer i et område, som stod Bohrs hjerte meget nær.

Referencer:

- [1] N. Bohr (1948), "The Penetration of Atomic Particles through Matter", *Mat.-Fys. Medd. Dan. Vidensk. Selsk.*, bind **18**, nr. 8.
- [2] N. Bohr (1913), "On the Theory of the Decrease of Velocity of Moving Electrified Particles on passing through Matter", *Phil. Mag.*, bind **25**, side 10–31.
- [3] C. G. Darwin (1912), "A Theory of the Absorption and Scattering of the α Rays", *Phil. Mag.*, bind **23**, side 901–920.
- [4] N. Bohr (1915), "On the Theory of the Decrease of Velocity of Swiftly Moving Electrified Particles in passing through Matter", *Phil. Mag.*, bind **30**, side 581–612.
- [5] N. Bohr, H. A. Kramers og J.C. Slater (1924), "The Quantum Theory of Radiation", *Phil. Mag.*, bind **47**, side 785–802.
- [6] N. Bohr (1925), "Über die Wirkung von Atomen bei Stößen", *Zs. Phys.*, bind **34**, side 142–157.
- [7] F. Bloch (1933), "Zur Bremsung rasch bewegter Teilchen beim Durchgang durch Materie", *Ann. D. Physik*, bind **16**, side 285–320.
- [8] J. K. Bøggild, K. J. Brostrøm og T. Lauritsen (1940), "Cloud Chamber Studies of Fission Fragment Tracks", *Mat.-Fys. Medd. Dan. Vidensk. Selsk.*, bind **18**, nr. 4.

[9] N. Bohr (1940), "Scattering and Stopping of Fission Fragments", *Phys. Rev.*, bind **58**, side 654–655; "Velocity–Range Relation for Fission Fragments", *ibid.*, side 839–840; samt N. Bohr (1941), "Velocity–Range Relation for Fission Fragments", *Phys. Rev.*, bind **59**, side 270–275.

[10] S. Rozental (1985), "NB. Erindringer om Niels Bohr", Gyldendal.

Bohrs publicerede afhandlinger om stødteori er givet i Niels Bohr Collected Works, bind 8, North-Holland, Amsterdam (1987), red. af Jens Thorsen. Her finder man også en introduktion til emnet såvel som gengivelser af nogle af de upublicerede manuskripter

og breve inden for området, som findes i Bohrarkivet.



Jens Thorsen er lic. scient. i fysik og arbejder som lektor ved Europaskolen i Luxembourg.

Niels Bohr og semiklassisk kollisjonsfysikk

Jens M. Bang, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, og Johannes M. Hansteen, Fysisk institutt, Universitetet i Bergen

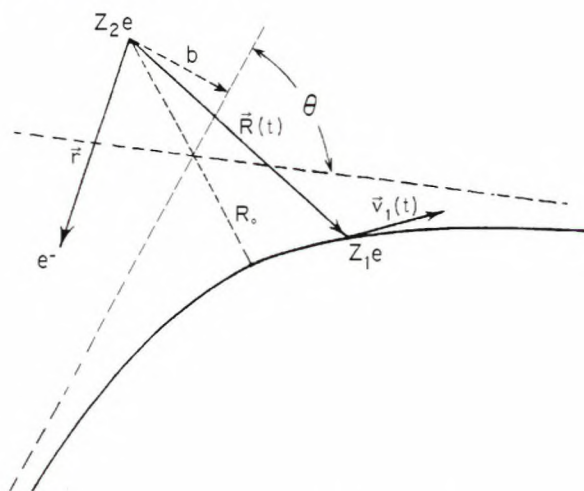
Innledning

Denne artikkel er ment å være en kortfattet beretning om et spesielt felt innen fysikken hvor Niels Bohrs ideer og forfinede analyse har vist seg å være av helt spesiell betydning. Vi tenker her på semiklassisk kollisjonsfysikk. Det kan med adskillig rett hevdes at det var Bohr selv som grunnla dette forskningsfelt, ikke minst gjennom sin dyptpløyende avhandling som etter mange forhindringer først ble publisert i 1948 [1].

Klassiske og semiklassiske approksimasjoner til kvantemekanikken er blitt mer og mer vanlig i de siste årtier. Dette gjelder for atom- og kjernefysikk så vel som for beskrivelsen av kjemiske reaksjoner. Det er således typisk at en av de konferanser som ble holdt i anledning av 100 års markeringen i 1985 av Niels Bohrs fødsel, var viet til semiklassiske metoder for studiet av atom- og kjernefysikk [2].

Niels Bohr har ved flere anledninger uttalt seg omtrent som følger: Vi mennesker har en sterk tilbøyelighet til å bruke klassiske bilder når vi skal tolke fysiske fenomener. De senere års utvikling har til fulle vist riktigheten av dette utsagn. Således er det grunner til å anta at semiklassiske teorier i den bredeste betydning av ordene vil finne økende anvendelse i fremtiden. Én årsak til dette er åpenbart at de semiklassiske modeller har en sterk appell til vår visualiserings-evne og fysiske intuisjon. Hertil kommer at de semiklassiske beskrivelser medfører en enklere matematisk behandling enn de fullstendig kvantemekaniske beregninger som ofte er plagsomt kompliserte. Vi skal i det

følgende skissere effektiviteten og anskueligheten av en semiklassisk modell i forbindelse med analysen av K-skallionisasjon og beslektede prosesser som opptrer ved ione-atom kollisjoner.



Figur 1. Klassisk bilde av et ladet prosjektil som kolliderer med en targetkjerne med ett bundet elektron. Symbolet θ betegner spredningsvinkelen og b den tilsvarende støtparameter.

Motivering og modell

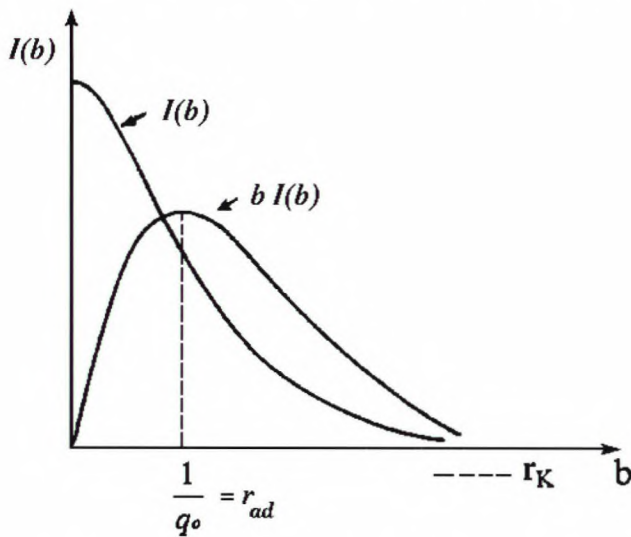
Som et biprodukt av studiene av Coulomb-eksitasjon av atomkjerne [3] ble det skapt fornyet interesse for atomære kollisjoner i 1950-årene. Man trengte å kjenne bedre den atomære bakgrunn for kjerneprosessene.

Dette gjaldt særlig tverrsnittene for K-skallionisasjonen fremkalt ved bombardement av forskjellige targets med ladete prosjektiler [4]. Kvantiske forutsetninger (Born-approksimasjonen) av det totale ionisasjonstverrsnitt passet dårlig med utførte eksperimenter [5].

Vi betrakter spredning av et prosjektil med ladning $Z_1 e$ på en targetkjerne med ladning $Z_2 e$. Bruken av et klassisk banebilde for denne Coulombspredningen krever at følgende ulikhet må være oppfylt:

$$\kappa = \frac{2Z_1 Z_2 e^2}{\hbar v_1} \gg 1 \quad (4)$$

Her er v_1 hastigheten til den innfallende partikkel. Denne ulikheten kalles ofte for Bohr-Sommerfeld kriteriet [1] eller man taler om "den Bohrske kappa". Ulikheten er en konsekvens av kravet om at uskarpheten som følge av diffraksjonen skal være meget mindre enn spredningsvinkelen. Under forutsetning av at ulikheten (1) er oppfylt, kan vi visualisere den nevnte K-skallionisasjonsprosess slik som illustrert i Figur 1.



Figur 2. Sannsynligheten for Coulomb-ionisasjon $I(b)$ for utsendelse av et K-skall elektron som funksjon av støtparameteren b for rettlinjede prosjektilbaner. Størrelsen r_K betegner radien av K-skallet. Beregning gyldig bare for $b \ll r_K$.

Den relative bevegelse $\vec{R}(t)$ av de kolliderende prosjektil-target-kjerner kan nå beskrives ved klassiske baner, altså hyperbelbaner i vårt tilfelle med positive kjerner. Det bundne elektronet beskrives derimot kvantemekanisk. Det tidsvarierende Coulombfelt fra prosjektilkjernen vil indusere elektroniske prosesser, såsom eksitasjon, ionisasjon, elektronoverføring til prosjektil og videre eksempelvis e^+e^- pardannelse. Selv med denne enkle modell har vi for oss et trelegemesproblem som bare lar seg løse ved hjelp av approksimasjonsmetoder. Én metode går ut på å betrakte Coulombvekselvirkningen mellom det ene aktive

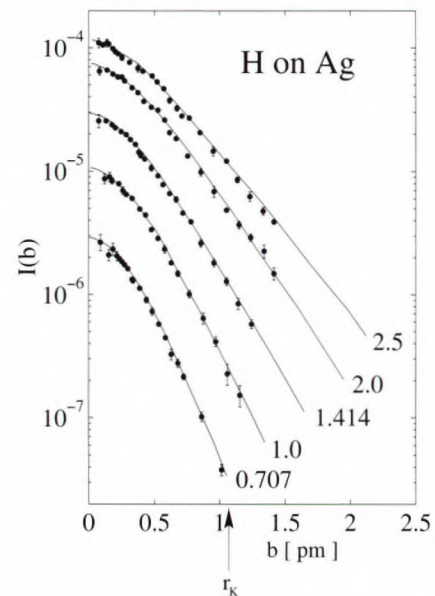
elektronet og prosjektilen som en svak forstyrrelse av systemet, hvilket under bestemte forutsetninger har ført til instruktive resultater [6].

I de senere år er det blitt vanlig innen atomær kollisjonsfysikk å bruke akronymet SCA (semiclassical approximation) for alle atomære kollisjonsmodeller som involverer bruken av klassiske prosjektilbaner [7].

Noen resultater basert på SCA-beskrivelsen

Med utgangspunkt i Niels Bohrs grunnleggende undersøkelse [1] ble den direkte Coulomb-ionisasjon av K-skallet, fremkalt av ladete prosjektiler som protoner, deuteroner eller α -partikler, gjenstand for en tidlig teoretisk behandling [6]. Basert på støtparameterformuleringen av SCA-modellen ble det påpekt at ved tilstrekkelig små prosjektilenergi er det den såkalte adiabatiske radius, r_{ad} , som er den avgjørende størrelse ved Coulombinduserte prosesser.

$$r_{ad} = \frac{1}{q_0} = \frac{\hbar v_1}{\Delta E} \quad (5)$$



Figur 3. Eksperimentell sannsynlighet $I(b)$ for K-skall ionisasjon av Ag med protoner som en funksjon av støtparameteren. Data basert på koinidensmålinger [8] og med protonenergiene angitt i MeV.

Her betegner $\hbar q_0$ den klassisk minste impuls-overføring som er nødvendig for å overføre en energimengde ΔE til elektronet i kollisjonen. I det tilfellet at elektronet er bundet, altså tilfellet med ionisasjon, vil den resiproke lengde ha minimalverdien

$$q_0(\Delta E = E_B) = \frac{1}{r_{ad}} = \frac{E_B}{\hbar v_1} \quad (6)$$

hvor E_B er elektronets bindingsenergi. Det viser seg således at det dominerende bidrag til det differensielle ionisasjonsvernsnittet kommer fra støtparametre som tilnærmet er lik den adiabatisk radius eller mindre (men antallet av baner med små støtparametre er i seg selv lite). Den SCA-baserte forutsigelse er illustrert i Figur 2. Arealet under kurven $bI(b)$ er proporsjonalt med totalvernsnittet. Man skulle egentlig ha ventet at K-skall radien her skulle ha spilt en avgjørende rolle. Denne egenskap til r_{ad} er karakteristisk for Coulombfeltet ved tilstrekkelig lave prosjektilenergi. Egenskapen vil ikke være gyldig for potensialer som for eksempel den harmoniske oscillator.

Dette resultatet var lenge omstridt, men fikk sin bekreftelse ved koincidensmålinger mellom det spredte prosjektilet og den karakteristiske K-strålingen fra target. Målingene ble utført i Århus [8] og gav resultater som er skissert i Figur 3.

Parameteren κ er her av størrelsesorden 10, og kurvene har en form i forhold til r_K som forutsagt av den semiklassiske teori. Dette er en meget strengere test for modellen enn sammenligning med målinger av totalvernsnittene. Dog er det slik at nyere målinger av totalvernsnittene gir utmerket overensstemmelse med mer raffinerte SCA-regninger hvor det blant annet er brukt relativistiske bølgefunksjoner for targetelektronene [9].

En nyttig skaleringslov

Den semiklassiske kollisjonsmodell som er skissert ovenfor egner seg godt til ekstrahering av skaleringslover [6], [10]. Således lar det seg vise at for Coulombinduserte prosesser og for støtparametre som er tilstrekkelig store i forhold til den adiabatisk radius, vil følgende uttrykk gjelde for sannsynligheten av prosessene:

$$I(b) = \text{const} \exp[-2q_0(\Delta E)R_0(\theta)] \\ \rightarrow \text{const} \exp[-2q_0(\Delta E)b(\theta)] \quad (7)$$

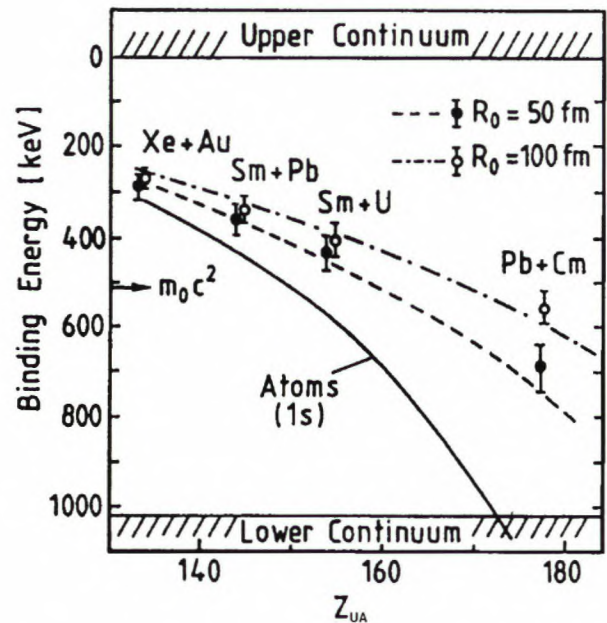
for

$$b \gg r_{ad} = \frac{1}{q_0}$$

Her er R_0 den minste avstand mellom de kolliderende kjerner slik som indikert i Figur 1. Dette er blitt kalt den kinematiske skaleringslov for Coulombprosesser fordi de kinematiske variable er konsentrert i eksponensialfunksjonen. Loven har funnet stor anvendelse, blant annet som redskap for spektroskopien av de super-tunge kvasiatomer [11] hvor $Z_1 + Z_2 = Z_{UA} > 137$. (UA: united atom). Et eksempel på bruk av loven er ekstrahering av de laveste bindingsenergiene for de transiente kvasiatomer som antas dannet ved kollisjoner mellom tunge ioner og atomer. Man kan eksperimentelt innrette seg slik at man opererer med like R_0 -verdier ved forskjellige verdier av prosjektilhastigheten. Fra

ligningene (4) lar det seg da utlede følgende uttrykk for den søkte bindingsenergi:

$$E_{1S\sigma}(R_0, Z_{UA}) = \frac{\hbar v_1}{2R_0(v_1 - v_1')} \ln \left(\frac{I_{1S\sigma}(b)}{I_{1S\sigma}(b')} \right) \quad (8)$$



Figur 4. K-bindingsenergi for transiente kvasiatomer som funksjon av $Z_{UA} = Z_1 + Z_2$ for minsteavstander $R_0=50$ fm og 100 fm. Eksperimentelle verdier ekstrahert fra målinger [12] ved bruk av den kinematiske skaleringslov og sammenlignet med teoretiske verdier [13].

I Figur 4 er vist resultater fra Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) i Darmstadt [12].

De eksperimentelle energiene er ekstrahert ved hjelp av formelen i (5) idet man har målt $I_{1S\sigma}(b)$ og $I_{1S\sigma}(b')$. De teoretiske kurvene er resultatet av kompliserte beregninger basert på løsningen av den relativistiske tosender Dirac ligning [13]. Den kinematiske skaleringslov gir således på en enkel og direkte måte opphav til tankevekkende resultater som er direkte sammenlignbare med utfallet av tidskrevende numeriske beregninger. Det er derfor ikke underlig at de semiklassiske modeller stadig utnyttes ved detaljstudiet av ione-atom kollisjoner [14].

Konklusjon

Sammenhengen mellom kvanteteorien og den klassiske fysikk var en av de viktigste problemstillinger i Niels Bohrs livsverk. De dyptpløyende teoretiske studier fra Bohrs hånd innen dette forskningsfelt har helt opp til dagen i dag ledet til mange nye og fruktbringende undersøkelser, både teoretisk og eksperimentelt. Vi tror at dette er en utvikling som vil fortsette. I denne artikkel har vi bare redegjort for et lite, spesialisert område innen feltet. Men vi konkluderer med å understreke at

Niels Bohrs skapende ideer har vært u-unnværlige redskaper under hele analysen, utviklingen og anvendelsen av de semiklassiske metoder.

Referencer:

- [1] N. Bohr: The Penetration of Atomic Particles Through Matter. Kgl. Dan. Vidensk.Selsk. Mat.-Fys. Medd. **18**, No. 8 (1948) og referanser gitt der. Se også Jens Thorsens artikkel i dette nummer av Kvant.
- [2] Semiclassical Descriptions of Atomic and Nuclear Collisions. Niels Bohr Centennial Conferences 1985. (Eds. J. Bang and J. De Boer) North-Holland, Amsterdam (1985).
- [3] K. Alder, A. Bohr, T. Huus, B. Mottelson and A. Winter: Study of Nuclear Structure by Electromagnetic Excitation with Accelerated Ions. Rev.Mod. Phys. **28**, 432 (1956).
- [4] T. Huus, J. H. Bjerregaard and B. Elbek: Measurements of Conversion Electrons from Coulomb Excitation of the Elements in the Rare Earth Region. Kgl.Dan.Vidensk.Selsk. Mat.- Fys. Medd. **30**, No. 17 (1956).
- [5] S. Messelt: K-Shell Ionization by Protons. Nucl.Phys. **5**, 435 (1958).
- [6] J. Bang and J.M. Hansteen: Coulomb Deflection Effects on Ionization and Pair-Production Phenomena. Kgl.Dan.Vidensk.Selsk.Mat.-Fys. Medd. **31**, No.13 (1959).
- [7] J. M. Hansteen and O. P. Mosebekk: Simultaneous Coulomb Ejection of K- and L-Shell Electrons by Heavy Charged Projectiles. Phys. Rev. Letters **29**, 1361 (1972).
- [8] J. U. Andersen, E. Lægsgaard and M. Lund: Impact-Parameter Dependence of K-Shell Ionization. Nucl. Instrum. Methods **192**, 79 (1982).
- [9] J. M. Hansteen, L. Kocbach and A. Graue: Total K-Shell Coulomb Ionization Cross Sections at Very Low Projectile Energies. Phys.Scripta **31**, 63 (1985).
- [10] J. Bang and J. M. Hansteen: Considerations on a Scaling Law Related to Ionization and Pair-Production Phenomena in Ion-Atom Collisions. Phys.Scripta **22**, 609 (1981).
- [11] P. Armbruster, H.-H. Behncke, S. Hagmann, D. Liesen, F. Folkmann, and P. H. Mokler: A Tool for Spectroscopy of Super-Heavy Quasimolecules ($Z_1+Z_2 > 137$). The Bang-Hansteen Scaling Rule. Z. Physik **A288**, 277 (1978).
- [12] P. Armbruster: Heavy Ion Collision Induced Characteristic X-Ray Production. - Cross Section Experiments, i: Quantum Electrodynamics of Strong Fields. (Ed. W. Greiner) p. 135 Plenum Press, New York (1983).
- [13] G. Soff, J. Reinhardt, W. Betz, and J. Rafelski: Systematic Investigations of Binding Energies of Inner-Shell Electrons in Superheavy Quasimolecules. Phys. Scripta **17**, 417 (1978).
- [14] J. M. Hansteen, J. P. Hansen, S. E. Nielsen and A. Dubois: On the Use of Semiclassical Theories for Differential Scattering in Inelastic Heavy Particle Collisions. Comments At.Mol.Phys. **32**, 57 (1995).

Vår beste takk til Ladislav Kocbach for råd og hjelp under utarbeidelsen av denne teksten.



Jens M. Bang er docent ved Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.



Johannes M. Hansteen er professor emeritus ved Fysisk institutt, Universitetet i Bergen.

Fri-elektron laseren –

Næste generation af brillante synkrotronstrålingskilder

Robert Feidenhans'l, Afdelingen for Materialers Fysik og Kemi, Forskningscenter Risø, Leif Gerward, Institut for Fysik, Danmarks Tekniske Universitet, og Janus Staun Olsen, Ørsted Laboratoriet, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet.

Indledning

Røntgenrør er blevet brugt til frembringelse af røntgenstråler siden Röntgens opdagelse af strålerne i 1895. Der er et forbløffende faktum, at til trods for den enorme betydning røntgenstråling har fået, har der kun været en ret beskedent udvikling af de konventionelle røntgenkilder med hensyn til brillans (se box 1). De vigtigste fornyelser har været røntgenrøret, som vi kender det i dag, med wolframglødetråd, opfundet af William Coolidge i 1913, samt røntgenrøret med roterende anode, introduceret af R. E. Clark i 1934. En skelsættende opdagelse fandt sted i 1947, idet Elder, Gurewitsch, Langmuir og Pollock for første gang iagttog synkrotronstråling i form af synligt lys fra en 70 MeV elektronsynkrotron tilhørende det amerikanske firma General Electric.

I store partikelacceleratorer, såsom betatroner og elektronsynkrotroner, bringes elektroner op til meget høje energier af størrelsesorden GeV, svarende til hastigheder nær lysets. Ved hjælp af et magnetfelt tvinges elektronerne til at bevæge sig i en cirkulær bane. På grund af centripetalaccelerationen udsender elektronerne derved elektromagnetisk stråling, hvis spektrum strækker sig fra synligt lys til hård røntgenstråling. Synkrotronstrålingen udsendes i et intenst og velkollimeret strålebundt langs partikelbanens øjeblikkelige retning. Endvidere er synkrotronstrålingen lineært polariseret og pulseret med en pulsvarighed på ca. 100 ps og en periodicitet på ca. 1 ms.

De første synkrotronstrålingskilder var acceleratore, der hovedsagelig var brugt af højenergi-fysikere. Senere er der bygget såkaldte lagerringe alene med henblik på at fremstille synkrotronstråling. I en lagerring kan bundter af elektroner eller positroner cirkulere rundt med fastholdt energi i op til et døgn, inden det er nødvendigt at fylde ringen med nye partikler. I moderne anlæg tvinges elektronerne ved hjælp af særlige magneter, der kaldes wiggler og undulatorer, til at løbe slalom i små buer, hvilket mangedobler strålingens intensitet. Undulatoren er den mest brillante røntgenkilde, der findes i dag. Eksempler på sådanne anlæg er Advanced Light Source (ALS) i Berkeley, Advanced Photon Source (APS) i Argonne, European Synchrotron Radiation Facility (ESRF) i Grenoble og SPring-8 i Japan.

Box 1. Brillans :

En røntgenstråles kvalitet angives ved antal fotoner per sekund og per relativ båndbredde. Derudover normaliseres med strålens vinkeldivergens og strålekildens areal. Hermed når man frem til kvalitetsmålet brillans, der er defineret ved

$$\text{Brillans} = \text{fotoner}/(s \cdot mrad^2 \cdot mm^2 \cdot 0,1\% \text{ båndbredde}),$$

jf. luminans eller lystæthed, som bliver brugt i lyslæren. Det er ikke til alle eksperimenter, at brillansen er det relevante kvalitetsmål. Undertiden er det snarere "brightness", hvor man ikke normaliserer med kildearealet:

$$\text{Brightness} = \text{fotoner}/(s \cdot mrad^2 \cdot 0,1\% \text{ båndbredde}),$$

jf. lysstyrke i lyslæren. Der kan også simpelt hen være tale om fotonfluxen, hvor man heller ikke normaliserer med vinkeldivergensen:

$$\text{Fotonflux} = \text{fotoner}/(s \cdot 0,1\% \text{ båndbredde}),$$

jf. lysstrøm eller lysflux. Med anvendelse af "brightness" eller fotonflux er forskellen mellem synkrotronstrålingskilder og røntgenrør noget mindre men stadig mange størrelsesordener (jf. figur 5).

I de sidste tre årtier har anvendelse af synkrotronstråling medvirket til en rivende udvikling inden for faststoffysik, overfladefysik, materialeforskning, kystallografi, molekylærbiologi m.v. [1]. Også industrielle og medicinske anvendelser er ved at vinde indpas. For nylig er der sket store fremskridt med hensyn til at bygge elektronkilder med høje strømstødsstyrker og lav emittans, lineære elektronacceleratorer i GeV-området, samt præcisions-undulatorer, baseret på SmCo₅ og andre moderne magnetmaterialer. På grund af disse videnskabelige og teknologiske fremskridt vil det være muligt at installere en undulator i en lineær accelerator og opnå laservirkning under et enkelt gennemløb i en såkaldt fri-elektron laser. Igangværende studieprojek-

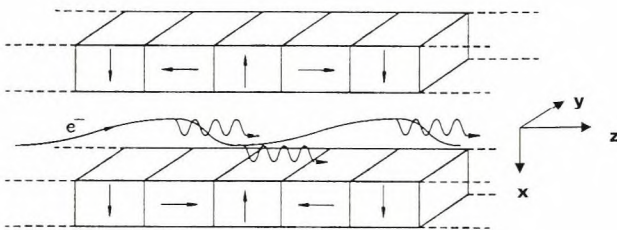
ter viser, at det skulle være muligt at opnå laservirkning også for røntgenstråling. Det er derfor højst sandsynligt, at det næste store spring med hensyn til intens synkrotronstråling vil bestå i udnyttelse af fri-elektron lasere til frembringelse af røntgenstråling med enestående brillans og kohærens.

Undulatorer

Ved afbøjningen af relativistiske elektroner eller positroner udsendes røntgenstråling tangentielt til partikelbanen i et strålebundt med meget lille vinkeldivergens. Den basale årsag hertil er Doppler-effekten, som bliver ekstrem, fordi partiklerne bevæger sig næsten lig så hurtigt som den elektromagnetiske stråling, de udsender. Man kan vise, at strålebundtets åbningsvinkel ψ er givet ved

$$\psi = \frac{1}{\gamma}, \quad (1)$$

hvor γ er den relativistiske faktor, dvs. $\gamma = m/m_0 \approx E/m_0c^2$ hvor m er elektronens relativistiske masse, og m_0 er dens hvilemasse, E er elektronenergien, og c er lyshastigheden. For en elektron findes $m_0c^2 = 0,511$ MeV, og vinkeldivergens ψ vil ifølge ligning (1) være mindre end 0,5 mrad (0,03°), når elektronenergien er større end 1 GeV.



Figur 1. Undulator eller wiggler.

Afbøjningsmagneter er de klassiske redskaber til frembringelse af synkrotronstråling, men moderne lagerringe er indrettet med retlinede stykker, hvor man indsætter undulatorer eller wiggler. Disse består som vist i figur 1 af magneter med alternerende polaritet. Det periodisk varierende statiske magnetfelt giver elektronerne en transversalt svingende bevægelse under gennemløbet, og strålingen frembringes af elektronernes transversale acceleration i undulatoren. I det følgende vil undulatorens symmetriakse benævnes z -aksen, og magnetfeltet antages at variere i x -aksens retning (se figur 1). Lad det statiske magnetfelt være givet ved

$$B_x = B_0 \sin \frac{2\pi z}{\lambda_0}, \quad (2)$$

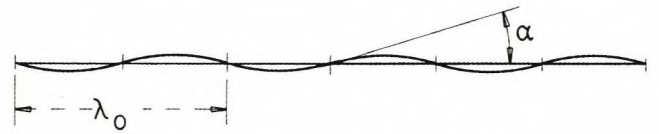
hvor B_0 er magnetfeltets amplitude, og λ_0 er undulatorperioden. Ved at løse bevægelsesligningerne for

en elektron i det periodisk varierende magnetfelt B_x kan man vise, at elektronen har en periodisk varierende hastighedskomponent v_y , og at den maksimale afbøjningsvinkel α (jf. figur 2) er

$$\alpha = \frac{eB_0\lambda_0}{2\pi\gamma m_0c}, \quad (3)$$

hvor e er elektronens ladning. Den såkaldte undulatorparameter K er defineret ved

$$K = \frac{\alpha}{\psi} = \alpha\gamma = \frac{eB_0\lambda_0}{2\pi m_0c}. \quad (4)$$



Figur 2. Elektronbevægelse i undulator eller wiggler.

For en undulator gælder, at $K \leq 1$, og at elektronens afbøjningsvinkel er af samme størrelsesorden som vinkeldivergensen for den stråling, elektronen udsender. Herved er der mulighed for konstruktiv interferens mellem stråling, der udsendes fra de forskellige buer under elektronens bevægelse igennem undulatoren. For en wiggler gælder, at $K \gg 1$ (typisk ca. 20), og der er ingen interferenseffekter.

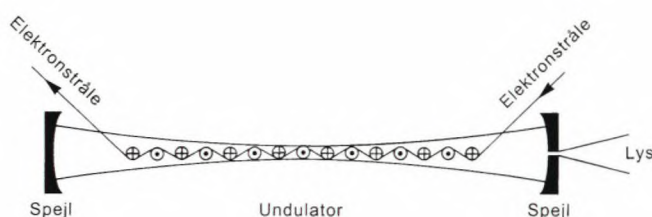
Vekselvirkningen mellem elektronerne og det elektromagnetiske strålingsfelt må beskrives med avanceret kvantemekanik [2]. Heldigvis kan undulatorens resonansbetingelse forstås ved en simpel model. Den elektromagnetiske stråling udbreder sig med lysets hastighed, medens elektronerne har en noget lavere hastighed. I den tid, det tager en elektron at gennemløbe en periode i undulatoren, skal lysbølgen have tilbagelagt undulatorperioden plus en lysbølgelængde. Elektronen har i dette tidsrum oplevet passage af en bølgefeltperiode, samtidigt som den har tilbagelagt en undulatorperiode [3]. Den lige omtalte betingelse kan formuleres

$$\frac{\lambda_0}{v_z} = \frac{\lambda_0 + \lambda}{c} \quad (5)$$

hvor v_z er elektronens hastighedskomponent i hovedbevægelsesretningen, og λ er bølgelængden for den udsendte stråling. Med anvendelse af elektronens relativistiske bevægelsesligninger og ovenstående ligning (5) kan man vise, at resonansbølgelængden λ er givet ved

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{2\gamma^2} \left(1 + \frac{K^2}{2} \right) \quad (6)$$

Da magnetfeltet ikke har præcis sinusform i praksis, får man også højere harmoniske bidrag svarende til, at λ i ligning (6) erstattes af $n\lambda$, hvor n er et helt tal (langs undulatoraksen får man dog kun de ulige harmoniske bidrag). Resonansbølgelængden kan tunes ved variation af elektronenergien E og dermed den relativistiske faktor γ , samt af undulatorparameteren K . Sidstnævnte kan bekvemt varieres ved at ændre spalten mellem undulatomagnetterne og dermed magnetfeltet B_0 . Bemærk, at ligning (6) er et udtryk for resonans, men at der endnu ikke er tale om laservirkning.



Figur 3. Fri-elektron laser baseret på undulator og optisk kavitet.

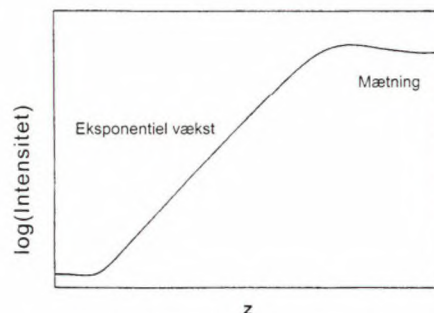
Fri-elektron laseren

Reflekteres undulatorstrålingen frem og tilbage ved spejle som vist på figur 3, kan der opnås forstærkning og laservirkning. Man taler da om en fri-elektron laser (FEL). I undulatoren opstår en vekselvirkning mellem det elektromagnetiske strålingsfelt og elektronerne, fordi de sidstnævnte under deres transversale bevægelse har en hastighedskomponent parallel med strålingens elektriske feltvektor. Vekselvirkningen fremkalder en rumlig modulation af elektrontætheden inden for elektronbundtet med en periodicitet lig med lysbølgelængden λ . På grund af denne effekt, som kaldes "microbunching", vil strålingen, der udsendes af de enkelte elektroner i bundtet, være indbyrdes kohærent. Strålingens intensitet vil derfor være proportional med kvadratet på antallet af elektroner i hvert elektronbundt, medens intensiteten af almindelig synkrotronstråling kun er proportional med antallet af elektroner. Endvidere vil vekselvirkningen lede til stimuleret emission, der yderligere forøger strålingens intensitet og kohærens, således at der bliver tale om en reel laservirkning.

Fri-elektron laseren udmærker sig ved at kunne levere en høj effekt (>1 kW) og ved forholdsvis let at kunne tunes via ændring af elektronenergien eller undulatorparameteren. Det brugbare bølgelængdeområde for eksisterende anlæg strækker sig fra 1 mm til $0,2 \mu\text{m}$. Hidtil har det ikke været muligt at konstruere en fri-elektron laser til frembringelse af røntgenstråling, da der ikke findes effektive reflektorer i dette bølgelængdeområde. For nylig er imidlertid en anden mulighed kommet inden for rækkevidde, uden

anvendelse af spejle. Ideen er at opnå laservirkning under et enkelt gennemløb af en lang undulator ved hjælp en selvorganiseret proces, der kaldes "Self-Amplified Spontaneous Emission (SASE)" [4].

Ved SASE-kørsel starter fri-elektron laseren fra støjniveau. I den første del af undulatoren er strålingen inkohærent, og intensiteten vokser lineært med den tilbagelagte afstand. Efterhånden vil den ovenfor omtalte vekselvirkning mellem elektroner og strålingsfelt lede til stimuleret emission og kohærens. Intensiteten vokser da eksponentielt med afstanden, indtil mætning er opnået (se figur 4).



Figur 4. Tilvækst i intensitet i fri-elektron laser baseret på SASE princippet.

SASE-princippet er blevet eksperimentelt afprøvet i mikrobølgeområdet. Den eksperimentelle bekræftelse for kortere bølgelængder har ladet vente på sig på grund af de meget store krav, der stilles på elektronstrålens stabilitet. Udvikling af elektronkilder med ekstremt lav emittans og lineære elektronacceleratorer i GeV-området har gjort, at SASE nu er kommet inden for rækkevidde også for kortbølget stråling. Ved Stanford Linear Accelerator Center (SLAC) og Deutsches Elektronen Synchrotron (DESY) i Hamborg er man i færd med at realisere fri-elektron lasere til blød røntgenstråling (VUV), og adskillige workshops er blevet afholdt [5].

Et studieprojekt ved acceleratorcentret i Stanford går ud på at udnytte dele af en eksisterende 50 GeV lineær accelerator som elektronkilde til en fri-elektron røntgenlaser. I en nær fremtid vil 2/3 af den 3 km lange accelerator blive beslaglagt af den såkaldte B-Factory til fremstilling af B-mesoner, mens den sidste kilometer vil kunne levere elektroner med 15 GeV energi til en fri-elektron laser. Principielt skulle der ikke være noget i vejen for at nå ned til bølgelængder svarende til hård røntgenstråling. Lignende projekter er på tegnebordet ved andre acceleratorcentre i USA.

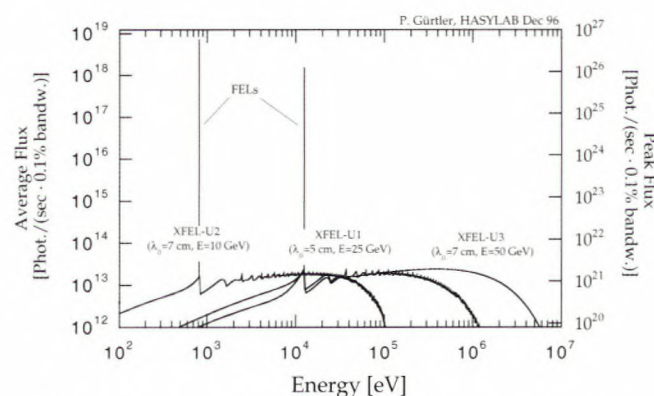
Ved DESY er det planen at udnytte lineæracceleratoren TESLA Test Facility (TTF) som elektronkanon til en fri-elektron laser, baseret på SASE-princippet. I første omgang vil man bruge en 390 MeV accelerator til en laser, der leverer stråling med bølgelængden 120 nm. Herved vil man kunne afprøve diverse komponenter og, hvad der er mest betydningsfuldt, for første gang kunne bevise SASE-princippets gyldighed for stråling

med så kort bølgelængde. De superledende magneter er allerede på plads, og man regner med, at det første test af TESLA fri-elektron laseren vil finde sted inden for det næste halve år. Lineæracceleratoren vil derefter blive forlænget, således at det vil blive muligt at nå ned til bølgelængden 70 nm. Det kan nævnes, at den 300 m lange fri-elektron laser vil indgå som et led i udstillingen World EXPO 2000 [6], der er åben 1. juni - 31. oktober 2000.

Den første fase af projektet forventes afsluttet i 2001, og derefter vil elektronenergien blive forhøjet til 1 GeV, samtidigt med, at undulatoren vil blive forlænget. Det skulle så være muligt at nå ned til bølgelængden 6 nm. På det tidspunkt vil anlægget blive overdraget til brugerne. I en mere fjern fremtid (10-15 år) er det planen at bygge en fri-elektron laser til hård røntgenstråling, X-ray Free Electron Laser (XFEL), med bølgelængden 0,1 nm (1 Å). Sidstnævnte laser vil i givet tilfælde indgå som en integreret del af et projekt, som højenergi-fysikerne ved DESY har på tegnebordet. Den planlagte lineæraccelerator vil kunne levere elektroner og positroner, hvis kinetiske energi er 500 GeV.

Videnskabelige anvendelser af røntgenlaseren

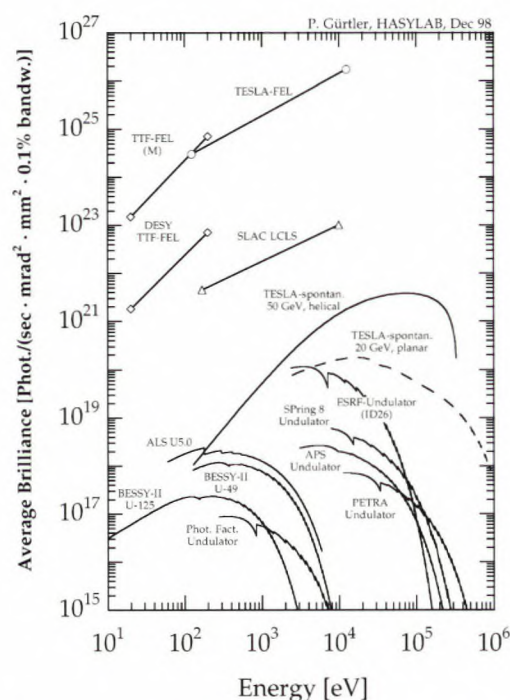
Fri-elektron lasere i VUV- og røntgenområdet vil kunne levere stråling med en brillans, der overtræffer dagens synkrotronstrålskilder med mange størrelsesordener. Laserstrålingen har desuden andre fordele, såsom rumlig kohærens og pulser med ekstremt kort varighed. Den rumlige kohærens vil kunne udnyttes til forskellige billedteknikker, såsom røntgenmikroskopi, holografi og interferometri. Men røntgenlaserens mest bemærkelsesværdige egenskab vil nok være det store energiindhold i hver enkelt puls. Det vil således blive muligt at foretage spektroskopiske og strukturelle undersøgelser baseret på en enkelt strålingspuls med en varighed af omkring 0,1 ps (10^{-13} s). Den meget høje pulsbrillans vil gøre det muligt at kortlægge flygtige og irreversible kemiske reaktioner og andre processer, som intensitetsmæssigt ikke kan studeres i dag.



Figur 5a. Fri-elektron laser sammenlignet med andre synkrotronstrålskilder. Fotonflux.

I røntgenområdet med bølgelængder omkring 0,1

nm (1 Å) giver laseren nye muligheder. Vi vil her give et par eksempler indenfor undersøgelser af faste stoffer. Som vist i figur 5b har XFEL en middelbrillans der er 2-3 størrelsesordener højere end alle eksisterende kilder i dag. Hvorfor er brillansen vigtig? Brillans er ikke kun et udtryk for fluksen (antallet af fotoner pr. sekund), som man kan se af brillansens enheder $fotoner/(s \cdot mrad^2 \cdot mm^2 \cdot 0,1\% \text{ båndbredde})$, men er fluksen normeret til kildepunktets størrelse samt strålens divergens (se også box 1). Derfor er brillansen den afgørende enhed for en kildes kvalitet til anvendelser, der kræver høj opløsning. Endnu vigtigere for XFEL er pulsbrillansen (peak brilliance), defineret som brillansen per pulslængde. Pulsbrillansen er mere end 10 (!) størrelsesordener højere end de bedste kilder som ESRF eller APS i dag (jf. figur 5c). Ti størrelsesordener svarer nogenlunde til forskellen mellem en konventionel kilde med roterende anode og en af de bedste synkrotronstrålskilder idag.



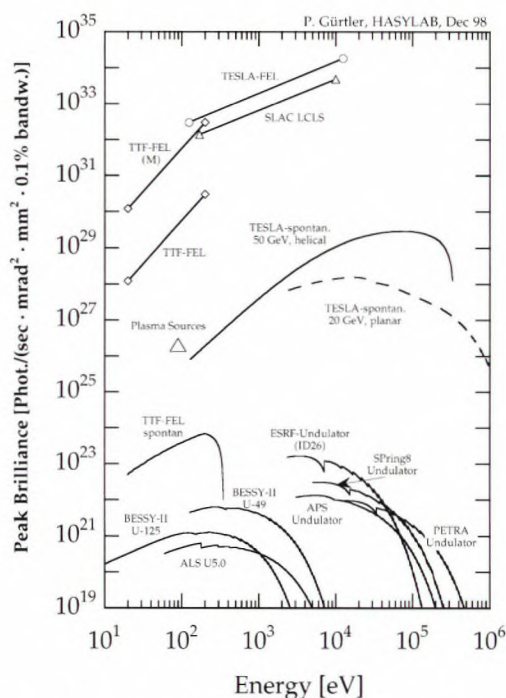
Figur 5b. Fri-elektron laser sammenlignet med andre synkrotronstrålskilder. Middelbrillans.

Den enorme pulsbrillans skyldes røntgenlaserens tidsstruktur. Røntgenstrålingen kommer i pulser af ca. 0,1 ps længde, og i en sådan puls vil der være 10^{12} - 10^{13} fotoner. Laseren startes af den stokastisk udsendte stråling fra den indkommende elektronpakke, og den udsendte røntgenpuls vil derfor indeholde støjbidrag med kortere tidsstrukturer end 0,1 ps. Kan disse detekteres og udfoldes fra det målte signal, kan tidsopløsninger bedre end 0,01 ps måske opnås. Antallet af fotoner pr. puls skal sammenlignes med, at der ud af et typisk strålerør i dag kommer 10^{13} fotoner per sekund. Det skal dog nævnes, at den stråle der kommer ud af en XFEL ikke er særlig monokromatisk.

Båndbredden er givet af antallet af poler i den ca. 30 m lange undulator og bliver omkring 0,1%. Dette er dog rigeligt til at udføre en række diffraktionseksperimenter, og ønskes en lavere båndbredde kan dette opnås på konventionel vis med en krystalmonokromator. Som det ses af figur 5a, indeholder spektret fra en XFEL også en bred komponent fra den spontane emission, som ikke er blevet selvforstærket, og som strækker sig op over fotonenergier på 100 keV. Også denne del af spektret er interessant, som vil blive diskuteret nedenfor. De nye anvendelsesområder for en XFEL ligger i eksperimenter der kræver:

- Kort tidsstruktur
- Høj kohærens
- Høj brillans

Efter gennemløb af fri-elektron laseren er elektronstrålens kvalitet forringet således, at yderligere laservirkning er udelukket. Elektronerne kan imidlertid stadig bruges i en undulator. En sådan efterfølgende undulator vil kunne levere røntgenstråling, hvis brillans er sammenlignelig med eller bedre end dagens 3. generations synkrotronstrålskilder.



Figur 5c. Fri-elektron laser sammenlignet med andre synkrotronstrålskilder. Pulsbrillans (peak brilliance).

Det hurtigst voksende felt indenfor synkrotronstråling i dag er makromolekylær krystallografi. Ved nye strålskilder som ESRF og APS udgør biologer og proteinkrystallografer over halvdelen af brugerkredsen. Den høje brillans og fluks fra synkrotronstrålskilderne har gjort det muligt at optage dataset af langt højere kvalitet end fra laboratoriekilder og at bestemme store strukturer med en opløsning på ca. 0,1 nm. Desuden kan det såkaldte faseproblem i strukturbestemmelsen overvindes ved at optage flere dataset

Box 2. Faseproblemet :

Røntgendiffraktion kan ifølge den velkendte Braggs lov opfattes som konstruktiv interferens mellem røntgenstråler reflekterede fra successive planer i en gitterplanskare. Hvert sæt af parallelle planer er kendetegnet ved Miller indices, hkl . Ved strukturundersøgelser er det nødvendigt for hver Bragg-refleksion at bestemme den såkaldte strukturfaktor, F_{hkl} . Den indeholder information om elektrontæthed og position af ethvert atom i krystallens enhedscelle. For makromolekylkrystaller som proteiner bliver F_{hkl} pga. det store antal atomer yderst kompliceret. Endvidere er størrelsen F_{hkl} i almindelighed et komplekst tal

$$F_{hkl} = |F_{hkl}| \exp(i\phi_{hkl})$$

hvor $|F_{hkl}|$ er modulen, og ϕ_{hkl} er fasen. Her opstår problemet, idet den målte intensitet af den pågældende røntgenrefleksion er proportional med kvadratet på modulen

$$I_{hkl} \propto |F_{hkl}|^2 \quad (7)$$

og fasen ϕ_{hkl} forbliver ukendt. Faseproblemet kan løses ved at måle intensitetsfordelingen i refleksionsmønstret to gange. I de to målinger skal et bestemt, tungere atom, der sidder et kendt sted i enhedscellen, have forskellige sprednings-evner. Hidtil har man opnået dette ved en kemisk metode, hvor man udskifter det pågældende atom med et andet (isomorf substitution). Ved anvendelse af synkrotronstråling er det muligt at benytte to forskellige bølgelængder nær en såkaldt absorptionskant λ_K for det tunge atom (svarende til en resonansfrekvens i atomet). Dette vil give en ændring i intensitet, som er direkte forbundet med fasen (anomal spredning). To målinger – en ved en bølgelængde, der er lidt kortere end λ_K , og en ved en bølgelængde, der er lidt længere – er ækvivalent med en isomorf substitution. Med anvendelse af synkrotronstråling er det muligt at optage flere dataset omkring absorptionskanten. Denne metode, som kaldes Multiple Wavelength Anomalous Dispersion eller MAD, har fået udstrakt brug inden for proteinkrystallografi.

omkring absorptionskanten for et tungere element for derved at variere spredningsfaktoren for det pågældende element (se også box 2). Disse muligheder, kombineret med det enorme videnskabelige og teknologiske potentiale, der ligger i at kende proteinstrukturerne på molekylært niveau, har gjort, at proteinkrystallografi har taget et kvantespring. I dag bruger de fleste større medicinalfirmaer således regelmæssigt

synkrotronstråling i deres forskningsarbejde. Ved den nye amerikanske synkrotron APS i Argonne har flere medicinalfirmaer opbygget deres egne målestationer.

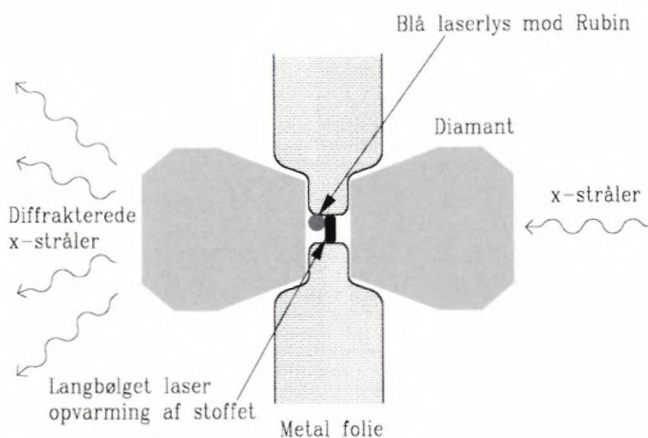
Grundlaget for proteinkrystallografien er, at proteinerne kan tænkes anbragt i et gitter således, at der kan opnås konstruktiv interferens mellem spredningen fra hvert protein. Imidlertid er omgivelserne i et gitter langt fra proteinets naturlige omgivelser. Desuden findes der proteiner, der ikke eller kun meget vanskeligt lader sig krystallisere, for eksempel overfladeproteiner der sidder i cellemembranerne. Hvad skulle der til for, at det ville være muligt at måle den spredte røntgenstråle fra et enkelt protein og derudfra rekonstruere proteinets struktur? Det er klart, at der kræves en særdeles intens røntgenstråle fokuseret ned til et lille område. Desuden ville proteinet meget hurtigt blive ødelagt på grund af strålingsbeskadigelsen, og et fuldstændigt dataset skal kunne optages inden beskadigelsen sætter ind. Det sidste krav, der skal opfyldes, er at man skal være i stand til manipulere et enkelt protein, således at det netop er på rette sted på rette tid for at blive ramt af røntgenpulsen. Der arbejdes i øjeblikket med undersøgelser af, om disse betingelser vil kunne opfyldes af en XFEL.

En pulslængde på 0,1 ps burde være kort nok til, at strålingsbeskadigelsen ikke spiller nogen rolle, idet beskadigelsen ikke kan nå at udbrede sig. Spørgsmålet er mere, om man kan opnå tilstrækkelig spredt intensitet fra et enkelt protein. Dette afhænger i høj grad af, om røntgenstrålen kan fokuseres tilstrækkeligt ned. Da strålen er fuldt kohærent transversalt, er det i princippet muligt at fokusere den ned til samme størrelsesorden som bølgelængden, om end det ikke er nødvendigt til dette formål. Desuden kræves der udvikling af nye matematiske teknikker for at rekonstruere proteinets struktur, idet der ikke længere er tale om spredning fra et periodisk gitter. Nu bliver spredningsmønstret dog ikke så diffust, som man umiddelbart skulle tro. Et protein indeholder faktisk temmelig meget orden, så den spredte stråling vil rumligt være kraftigt moduleret og minde om spredning fra en krystal.

En XFEL vil få stor betydning for studier af magnetiske materialer. De kraftigste, statiske magnetfelter ligger i dag i området 10-15 T. Felter over 50 T kan opnås i pulserede magnetiske felter, mens højere felter over 100 T kun opnås destruktivt, for eksempel ved at sende meget høje strømstyrker kortvarigt gennem kobberspøler. Eksperimenter ved disse ekstremt høje felter kan således ikke udføres stroboskopisk (cyklisk), men dataopsamlingen skal foretages indenfor en enkelt røntgenpuls. Det er ved sådanne eksperimenter røntgenlaserens høje pulsbrillans er afgørende. Andre eksempler er undersøgelser af systemer, der har en umagnetisk grundtilstand og en magnetisk tilstand, der kan eksiteres med en laser. Hvis levetiden af den eksiterede tilstand er i området 100 μ s, vil strukturen af den magnetiske tilstand kunne undersøges af et pulstog indenfor systemets henfaldstid.

Undersøgelser af stof ved meget høje tryk og store

og små temperaturer har betydning på mange områder. På de steder i solsystemet, hvor der findes stof, er en tilstand med atmosfæretryk og stuetemperatur absolut en undtagelse. Mere end 90% af alt stof befinder sig ved et tryk, der er større end 10 GPa (100 kbar) og en temperatur, der afviger meget fra 300 K. For at kunne beskrive jordens (eller andre planeters) indre, kræves der, at man kender fasediagrammet for jern og andre stoffer ved meget høje tryk og temperaturer. Geofysiske fænomener som for eksempel jordens magnetfelt, jordskælv og vulkaner vil kun kunne forstås ud fra et kendskab til stoffers opførsel ved meget høje tryk. Mange af de nye højtemperatur superledere får en forbavsende stor forøgelse af overgangstemperaturen til superledning, når de underkastes et tryk på op til 30 GPa (300 kbar). Nævnes kan også spørgsmålet om hvilket tryk, der er nødvendigt for at gøre luftarten brint metallisk med nye interessante egenskaber. Til anvendelser ved skærende bearbejdning og andre industrielle processer fremstilles kunstigt ved høje temperaturer og tryk en betydelig mængde hårde materialer som diamant og bornitrid. En optimering af disse processer foregår til stadighed.



Figur 6. Diamant trykcelle.

Til samtidig frembringelse af tryk op til 40 GPa (400 kbar) og temperaturer op til 3000 K ved et ca. 1 mm³ stor prøvevolumen sker der udvikling i retning af store apparater med mange stempler, der ved at presse symmetrisk om emnet kan frembringe hydrostatisk tryk kombineret med elektrisk opvarmning. Sådanne trykapparater vejer adskillige tons. Med små diamant trykceller kan man opnå tryk på op til 500 GPa (5 Mbar) og temperaturer op til 6000 K ved laseropvarmning. Endnu højere tryk kan kun opnås i chokbølger genereret ved eksplosioner eller pulserede lasere.

Diamant trykcellen består som vist på figur 6 af to diamant stempler, der sammenpresser et metalfolie. Med en relativt moderat kraft kan der opnås meget høje tryk, idet diamanternes trykflade er meget lille.

I foliet er der på forhånd boret et lille hul, der udgør trykkammeret, og hvis diameter er ca. 100 μm . Her anbringes det materiale, der ønskes undersøgt, tillige med en rubin krystal og en passende væske. Prøvens volumen er af størrelsesorden 10^{-4} mm^3 . Ved en argon laser kan rubin krystallen bringes til at lyse med en rød farve, hvis bølgelængde vokser med trykket i kammeret. Røntgenstråling sendes gennem diamanterne og diffrakteres på materialet. De diffrakterede stråler kan måles med forskellige detektorer, alt afhængig af de oplysninger om materialet, der ønskes.

Røntgenlasere vil blive benyttet til undersøgelser sammen med allerede nu kendte typer af trykapparater. Strålingens høje intensitet vil gøre det muligt at undersøge meget mindre stofmængder end i dag

og at opnå langt højere tryk, specielt for lette stoffer. Ligeledes vil synkroniseringen af røntgenstråling og intens laserlys, der kan frembringe et stort men kortvarigt tryk ved at en chok bølge passerer igennem materialet, være en nærliggende mulighed ved diffraktionsundersøgelser.

I forhold til voluminet af et materiale sidder der ikke mange atomer på en overflade. For at opnå tilstrækkelig intensitet i en røntgenstråle diffrakteret fra en overflade, er det nødvendigt med høje indkommende røntgenintensiteter på omkring 10^{13} fotoner pr. mm^2 . Dette opnås rutinemæssigt ved moderne synkrotroner i dag. Med en XFEL bliver det muligt at undersøge tidsopløste fænomener på en tidsskala helt ned til picosekunder.

Fysikshow i Århus

Af Kristian Mølhav og Klaus Seiersen.

Gymnasierne i Århus har nu mulighed for at få besøg af studerende fra Institut for Fysik og Astronomi på Aarhus Universitet, som laver et fysikshow på op i mod 90 minutters varighed. Showet er lærerigt, men også underholdende.

Under Dansk Naturvidenskabsfestival i september sidste år havde Det naturvidenskabelige Fakultet ved Aarhus Universitet arrangeret, at folkeskoleelever kunne besøge fakultetet i et stort cirkustelt opstillet i universitetsparken. I dette telt var der mulighed for at overvære en lille underholdende præsentation af fakultetets fag; fysik og kemi gav hver et lille show, geologerne fortalte om store dinosaurer, datalogerne legede med LEGO robotter, og også matematik, idræt, biologi og molekylærbiologi havde en stand. Besøget blev afsluttet fra en scene, hvor kemikerne lavede et stort kemishow med lys, farver og brag.

Forfatterne til denne artikel er begge studerende ved Institut for Fysik og Astronomi, og i festivalugen var vi ansat ved fysikstanden i teltet. Her morede vi os over glæden i elevernes øjne, når vi udførte nogle af de små sjove forsøg. Vi snakkede om at udvide det til et større show, som vi kunne rejse rundt på gymnasierne med. Sidst i december fik vi så en aftale med Marselisborg Gymnasium, hvorefter vi gik i gang med at stable det store show på benene.

Vi havde mange ideer, og da det første show blev afholdt sidst i februar, så havde vi nok til 90 minutters underholdning - og mere til. Inden udgangen af marts havde vi forevist showet til alle gymnasiets matematiske klasser, som udtrykte stor tilfredshed med oplevelsen. Dog fik 1. og 2.g'erne nok mest ud af det, da flere af tingene i showet allerede var blevet gennemgået på højniveauholdet.

Showet bliver afholdt klassevis. Det har den fordel, at vi har nemmere ved at snakke med de enkelte elever, som vi ofte stiller spørgsmål. Desuden har vi flere ting, som vi sender rundt eller går ud med blandt eleverne for at vise dem det på tæt hold. Som showet er opbygget nu, lægger vi ud med at tale om raketter (Danmark er jo blevet en rumfartsnation), og disse forklares med fænomenet impulsbevarelse, som kun de ældste elever har hørt om før. Så snakker vi om elektricitet (potentialer, strøm og spænding sammenlignes med et vandkredsløb) og elektromagnetisme (induktion, elektromagnetiske bølger, lys, farver). Det er mange svære emner, der behandles, men hvis de forklares på den rigtige måde, gerne suppleret med sjove forsøg, så får eleverne alligevel meget ud af det. Og hvis eleverne er lidt trætte til sidst, så vågner de altid op, når vi afslutter med at lave en god flødeis ved hjælp af flydende kvælstof. Vi er i øjeblikket kun to studerende på showet, men vi har fundet flere andre på institutet, som gerne vil være med, og som i den kommende tid skal "læres op". Dermed vil vi forhåbentlig fra efteråret af have nok personer til at dække den store interesse for showet, som vi forventer, når gymnasierlærerne får kendskab til showet.

Hvis du vil have besøg af Fysikshowet, så kontakt Kristian Mølhav (moelhav@ifa.au.dk) eller Klaus Seiersen (kls@ifa.au.dk).

Tribologi (smøring) er et emne, der længe kun har været angrebet fra en makroskopisk synsvinkel. Ved hjælp af scanning tunnel mikroskopet (STM) er man først indenfor de senere år begyndt at få indsigt i de atomare og molekulære processer, hvor de dynamiske aspekter er vigtige. Strukturelle ændringer på atomart niveau er forudsagt for meget tynde smørende film ("confined geometries"). For eksempel har det været foreslået at det velkendte fænomen "stick slip" (et emne hænger fast, indtil det pludselig slipper, og friktionen formindskes voldsomt, indtil hastigheden formindskes, friktionen stiger, og emnet hænger fast igen) skyldes en smelteovergang af smøremidlet. Friktionen er høj, når smøremidlet er i fast form, men under stigende belastning smelter det, og friktionen falder. Den smeltede fase er stabil, indtil hastigheden formindskes, og smøremidlet størkner. Dette har været eftervist i molekylær dynamik beregninger, hvor smøremidlet er en van der Waal væske, men det har ikke været eftervist eksperimentelt. Da tidsskalaen er kort, i mikrosekund området, kan eksperimenter formodentlig ikke umiddelbart udføres i dag, om end indledende forsøg allerede er foretaget ved at koble et røntgenbeam ind i en røntgenbølgeleder [7], hvori der senere skal fyldes et smøremiddel. Der er også blevet foretaget målinger i et "surface force apparatus", hvor en tynd film mellem to krummede mica plader undersøges. Problemet i begge disse typer målinger er, at det er vanskeligt at fokusere røntgenstrålen ned til tilstrækkelig små dimensioner og samtidig have tilstrækkelig intensitet til at foretage tidsstudier. Med andre ord er brillansen for lille ved dagens synkrotroner, men en XFEL vil kunne bane vej for sådanne målinger.

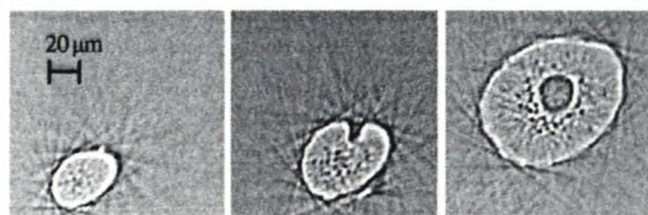
Et andet interessant aspekt ved XFEL er den spontane emission ved store fotonenergier omkring eller over 100 keV. Ved disse energier er der ingen laservirkning, det vil sige strålen er ikke kohærent, men som det ses af figur 5 er brillansen alligevel et par størrelsesordner højere, end hvad der kan opnås i dag. Denne del af spektret har anvendelser især indenfor materialeforskning og metallurgi til undersøgelser af tekstur, spændinger og korngrænsevækst. Røntgenstrålinger med energier omkring 10 keV trænger typisk kun få μm ind i materialer som kop- per eller jern og undersøger derfor kun det alleryderste område, som ikke behøver at være repræsentativt for hele materialet. Traditionelt har man i stedet brugt neutroner, der har indtrængningsdybder på flere cm. Neutronstråling har desværre den ulempe, at kilden har en uhyre lav brillans, idet kildepunktet har en stor rumlig udstrækning, og udstrålingen sker i alle retninger. Det er derfor ikke muligt at opnå en større rumlig opløsning end nogle få tiendedele millimeter. Røntgenstråling ved 100 keV har indtrængningsdybder i mm området, og på grund af den meget højere brillans end neutronkilder kan strålingen fokuseres således, at det er muligt at undersøge betydeligt mindre områder. Et såkaldt 3D

mikroskop udviklet i et samarbejde mellem ESRF og Forskningscenter Risø er netop blevet installeret ved ESRF. Målet er at nå ned på et målevolumen af ca. $5 \times 5 \times 50 \mu\text{m}^3$. Ved en XFEL kan dette volumen formodentlig formindskes ned til under $1 \mu\text{m}^3$, samtidigt med at det bliver muligt at lave tidsopløste studier. Dette vil være af stor betydning til undersøgelser af kinetikken af kornvækst i metaller.

En vigtig egenskab ved strålen fra en XFEL er kohærens. Alle eksisterende synkrotroner er inkohærente kilder, idet elektronerne udsender deres stråling uafhængig af hinanden. Med en inkohærent kilde kan der imidlertid opnås transvers kohærens, det vil sige kohærens vinkelret på udbredelsesretningen af strålen. Gøres forholdet mellem kildepunktets størrelse og afstanden mellem kilde og prøve tilstrækkelig lille, bliver strålen fra en inkohærent kilde tranverst kohærent. Den longitudinale kohærens, dvs. kohærens langs med udbredelsesretningen, er bestemt af monokromaciteten, for en XFEL altså af monokromatoren. Med eksisterende 3. generations synkrotronsstrålingskilder er det er muligt at opnå tranverst kohærent stråling over områder på ca. $10 \mu\text{m}$ – naturligvis på bekostning af intensiteten.



Figur 7a. Gifttand af edderkop. Fasekontrast billede.



Figur 7b. Gifttand af edderkop. Snitradiografier (mikrotomografi). På Kvants bagside findes et 3D billede fra 60 rekonstruerede tværsnit.

Ved en XFEL bliver det muligt at opnå transversal kohærens over flere hundrede μm med høj intensitet. Udnyttes en sådan stråle til diffraktion fra materialer, hvor der er områder med fasekontrast, opstår der "speckle" – analogt til hvad der kendes fra laserfysikken. Måles tidsafhængigheden i specklemønstret opnås information om dynamikken i systemet. Det kaldes korrelation spektroskopi og er en standard teknik, når målinger udføres med laserlys, men de meget kortere bølgelængder af røntgenstrålen gør det muligt at undersøge dynamikken på atomare

længdeskalaer.

Transvers kohærens muliggør fasekontrast mikroskopi i Gabor "in-line" geometri. Dette er en teknik, der er i de sidste par år er blevet voldsomt populær ved ESRF, og som udelukkende er mulig på grund af den høje brillans. Når man får taget røntgenbilleder på sygehuset eller hos tandlægen er kontrasten i billederne baseret på forskelle i absorption af røntgenstråling mellem væv og knogler. Men ofte ønsker man at undersøge emner, hvor der kun er meget små forskelle i absorption og derfor ingen kontrast. Har man en kohærent stråle, kan man i stedet udnytte, at en røntgenstråle refrakteres og derved får et faseskift, når den passerer igennem et materiale. I to forskellige materialer fås forskellige faseskift og dermed mulighed for interferens. Et eksempel er vist i figur 7 og i 3D-billedet på Kvants bagside, som er hentet fra ESRF's hjemmeside [8]. Med en XFEL er røntgenstrålen født fuldt transvers kohærent, hvorved det bliver det muligt at lave mikroskopi med højere opløsning, måske bedre end 100 nm.

Fremtiden

Det er ganske svært at spå om fremtiden, og de ideer, der er skitseret her til anvendelsen af en XFEL, er kun en ekstrapolation af, hvad der muligt ved eksisterende kilder i dag. Sammenligner vi med forløbet af udviklingen omkring den fælles europæiske synkrotronstrålingskilde ESRF, venter der mange nye og spændende videnskabelige udfordringer. Da ideerne til ESRF blev formet i begyndelsen af firserne, havde ingen forestillet sig den eksplosive udvikling, der er sket indenfor proteinkrystallografien, ej heller de nye muligheder den høje brillans gav til at udnytte den transverse kohærens til fluktuations spektroskopi og fasekontrast billeddannelse. De oprindelige design specifikationer på maskinen blev overtruffet med mere en størrelsesorden, på trods af at kravene var sat meget højt fra starten.

I forhold til landets størrelse har Danmark meget stærke forskergrupper indenfor alle områder af udnyttelsen af synkrotronstråling, samtidig med at en XFEL formodentlig vil realiseres i Hamborg kun få timers kørsel fra landets grænser. Dansk forskning baseret på synkrotronstråling står derfor i en meget stærk position til at udnytte mulighederne ved en XFEL, såfremt denne bygges. I den forbindelse ville det være ønskeligt med en fremsynet dansk forskningspolitik, som fastholder mulighederne for en fortsat dansk forskning helt i front.

Referencer:

- [1] M. Altarelli, F. Schlachter og J. Cross, Ultrabright X-rays. Scientific American, December 1998, p. 36.
- [2] J. M. Madey, Stimulated Emission of Bremsstrahlung in a Periodic Magnetic Field. J. Appl. Phys. 42, 1906 (1971).

- [3] P. Lawætz, Moderne Fysik. Polyteknisk Forlag 1991, p. 110 ff.
- [4] K.-J. Kim og M. Xie, Self-amplified spontaneous emission for short wavelength coherent radiation. Nucl. Instrum. Methods A 331, 359 (1993).
- [5] A Superbrilliant X-ray Laser Facility. <http://www.desy.de/~wroblewt/scifel.html>
- [6] Light for the New Millenium. <http://www.desy.de/expo2000/>
- [7] M.J. Zwanenburg et al., Phys. Rev. Lett. 82, 1696 (1999)
- [8] ESRF's hjemmeside: <http://www.esrf.fr/>



Robert Feidenhans'l er programleder ved Afdelingen for Materialers Fysik og Kemi, Forskningscenter Risø. Han interesserer sig især for overflader, overfladestrukturer, grænseflader og spredning af røntgenstråler, herunder anvendelser af synkrotronstråling.



Leif Gerward er docent ved Institut for Fysik, Danmarks Tekniske Universitet (DTU). Han interesserer sig især for materialeundersøgelser med røntgenstråling, herunder anvendelser af synkrotronstråling.



Janus Staun Olsen er lektor ved Niels Bohr Institutet, H.C. Ørsted Laboratoriet. Han interesserer sig især for røntgendiffraction og anvendelser af synkrotronstråling, herunder materialeundersøgelser ved variation af tryk og temperatur.

Melles Griot makes OPTICS, OPTO-MECHANICS, LASERS, INSTRUMENTS, and FIBER OPTICS



Contact Melles Griot for a fast response to your photonics needs. Our vast product selection described in our detailed product literature will provide solutions for a successful product or experiment.

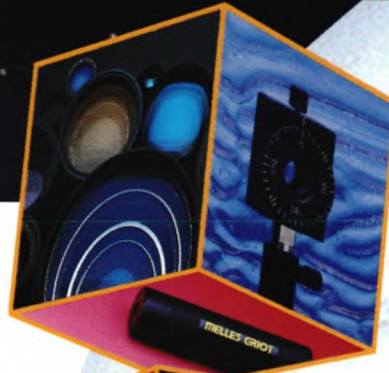
Whether you need a single lens, or thousands of laser assemblies, Melles Griot is ready to deliver. From a single prototype to full-scale production, we can ship to your schedule. Melles Griot has earned a 25 plus year reputation as a quality manufacturer of optics, opto-mechanics, lasers, instruments, and fiber optics.

We have facilities in North America, Europe, and the Asia Pacific staffed with applications engineers ready to fulfill your requirements. You can reach us by phone, FAX, or the INTERNET.

From simple lenses to advanced fiber optics — Melles Griot is your *first choice* in photonics!

**Call, FAX, or E-mail us today
for your photonics solutions!**

Melles Griot Danmark
Stenagervej 13 • DK-4100 Ringsted
Phone: 53 61 50 49 • Fax: 53 61 60 49
E-mail: 101456.567@compuserve.com



■ OPTICS

- Beam Expanders
- Beamsplitters
- Coatings
- Custom OEM Optics
- Custom Optical Assemblies
- Cylindrical Optics
- Diode Laser Optics
- Filters
- Invaritar Lenses
- Lenses
- Micro Optics
- Mirrors
- Optical Design Software
- Polarizers
- Prisms
- Shutters & Irises
- YAG Lenses

■ OPTO-MECHANICS

- Breadboards
- Optical Tables & Isolators
- Opto-Mechanical Mounts
- Positioning Equipment
- Workstations

■ LASERS

- Diode Lasers & Assemblies
- Helium Neon Lasers

■ INSTRUMENTS

- Amplifiers
- Beam Position Measurement
- Beam Profilers
- Diode Laser Drivers
- Diode Laser Controllers
- Optical Spectrum Analyzers
- Power & Energy Meters
- Power Supplies
- Wavefront Analyzers

■ FIBER OPTICS

- Reflective Fiber Gratings
- Circulators
- Isolators
- Tree Couplers
- Attenuators
- Fiber Collimators

MELLES GRIOT

Canada
(613) 226-5880

France
(01) 3012-0680

Germany
(06251) 84060

Japan
(03) 3407-3614

Netherlands
(0316) 333041

Singapore
743-5884

Sweden
(08) 630-8950

Taiwan
(035) 729-518

United Kingdom
(01223) 420071

United States
(714) 261-5600

Generalforsamling i Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Selskabet for Naturlærens Udbredelse

Direktionen for SNU udgøres af:

Professor Dorte Olesen (formand)
UNI-C
Vermundsgade 5
2100 København Ø

Lektor Finn Berg Rasmussen

Lektor Erik Schou Jensen

Professor Erik W. Thulstrup

Lektor Malte Olsen

Direktør Ole Mørk Lauridsen

Sekretær:

Lektor Jørn Johs. Christiansen
Aakjærs Alle 24 B
2860 Søborg
Tlf. 39 69 58 18

Beretning for året 1998

Året 1998 har været et godt og roligt år for SNU. I foråret afholdtes en foredragsrække over temaet "naturvidenskab og etik". Det blev til tre foredrag: den 18.2.98 talte lektor Claus Emmeche fra Niels Bohr Institutet om "Den indre og ydre etik i naturvidenskab", den 25.3.98 holdt lektor Erik Bahn fra Genetisk Afdeling på KU foredraget "Om vor biologiske virkelighed", og den 22.4.98 talte professor Peter Sandøe fra KVL om "Forholdet mellem (natur)videnskab og etik". Det var meningen, at der også den 1.4.98 skulle have været holdt et foredrag i serien, men oplægsholderen blev syg i sidste øjeblik, og i stedet måtte lektor Finn Berg Rasmussen springe til og holde foredrag. Det lykkedes, så de fremmødte fik et spændende oplæg med eksperimenter, og jeg takker for Finn Bergs velvilje i den akutte situation.

I løbet af foråret skete også et redaktørskift på KVANT/Fysisk Tidsskrift, hvor Mads Hammerich i forbindelse med et jobskifte til Experimentarium ikke længere mente at kunne overkomme jobbet. I stedet tiltrådte Jens Olaf Pepke Pedersen, der har vist sig som en effektiv og god ny redaktør af bladet. Jeg vil gerne benytte lejligheden til at takke såvel den afgangende og den tiltrådte redaktør for godt samarbejde – både løbende og ikke mindst i forbindelse med vagtskiftet.

Efteråret 1998 fik som foredragstema det historiske. Sæsonen begyndte med et foredrag af rektor Hans Peter

Jensen, DTU, om H.C.Ørsteds liv og virke. Det fandt sted den 16.9.98, og næste foredrag var den 28.10.98, hvor dr.techn. Ole Bostrup fortalte om "Den kemiske revolution i Danmark 1794". Professor Bent Elbek fra Niels Bohr Institutet sluttede serien den 9.12.98 med foredraget "Opdagelser og teorier i elektromagnetismens historie". Med i sæsonens program var også et besøg på Telelaboratoriet den 7.10.98, hvor vi så det nye mediecenter til afprøvning af brugervenlighed og de forskellige testfaciliteter for teleudstyr, samt hørte et delvis historisk foredrag af direktør, adjungeret professor Ole Mørk Lauridsen, TeleDanmark. Et glimrende arrangement, med stor gæstfrihed fra TeleDanmarks side.

Møderne i 1998 har været besøgt af et lidt varierende antal, i gennemsnit ca.25, men med ret store variationer. En række onsdage har der været sammenfald mellem fodboldkampe og møder i SNU, og det har været synligt. Direktionen har derfor besluttet i den kommende efterårssæson at afprøve mandag som mødedag istedetfor onsdag - selvom vi glædeligvis har kunnet konstatere, at flere af vores forårsarrangementer her i 1999 har trukket store tilhørerskarer, så dagen alene naturligvis ikke er eneafgørende for, hvor mange der møder op.

Forelæggelse af regnskab

Det af revisor underskrevne regnskab for 1998 blev uddelt og kommenteret. Medlemskontingentet var indbetalt i overensstemmelse med budgettet. En gennemgang havde dog vist, at der blandt indbetalerne i 1998 var en del, der ikke havde betalt i 1997, men havde gjort det i 1996 eller 1995 – og tilsvarende nogle, der betalte i 1997, men ikke i 1998, men fortsat modtog KVANT. Dette havde fået direktionen til at beslutte nu at ville sende et brev til de modtagere af KVANT, som ikke havde betalt kontingent i 1998 – og høfligt minde dem om, at modtagelsen af bladet forudsatte betalende medlemskab af foreningen. Hvis der ikke kom en positiv reaktion herpå, måtte leverancen af KVANT ophøre. Af samme grund var der i december 1998 fra KVANT modtaget en meget stor regning. Det var naturligvis uholdbart, hvis SNU skulle betale for, at mere end dobbelt så mange som antallet af betalende medlemmer modtog KVANT.

Udover den større post vedr. KVANT rummede regnskabet ingen videre afvigelser fra 1998-budgettet.

Forelæggelse af budget, herunder fastsættelse af kontingent

Budgettet var på næsten alle poster konservativt, og forudsatte kun samme medlemstal som i 1998. Såfremt

der kom en stigning i medlemstallet, ville bidraget til KVANT naturligvis stige tilsvarende. En vis overskridelse af KVANTs budget kunne dukke op, grundet diskrepansen i første kvartal. Dette var dog ikke konkret indbudgetteret. Hvad angik mødearrangementer, var budgettet tilpasset den allerede afholdte reception for Ove Nathan i forbindelse med Dronningens overrækkelse af H.C.Ørsted Medaljen i januar.

Forsamlingen tiltrådte, at kontingentet for år 2000 blev fastholdt på det hidtidige niveau. Der var dog enkelte tilstedeværende, der opfordrede direktionen til at overveje nedsættelse af kontingentet for pensionister, mens andre talte imod det. Formanden ville tage sagen op til drøftelse i direktionen inden næste generalforsamling.

Direktionens medlemmer

Direktionen havde en ledig plads. Der var ikke før generalforsamlingen fundet kandidater, som havde erklæret sig villige. Det blev foreslået, at direktionen rettede henvendelse til en videnskabs-journalist om at træde ind. Formanden ville arbejde videre med dette forslag.

Valg af revisor.

Bente Winstrøm-Olsen blev genvalgt med akklamation.

Eventuelt

Generalforsamlingen takkede formanden for indsatsen gennem året.

Det Europæiske Fysiske Selskab

Per-Anker Lindgård, Afdelingen for Materialers Fysik og Kemi, Forskningscenter RISØ

Det Europæiske Fysiske Selskab, European Physical Society (EPS), som det hedder, havde 30 års jubilæum sidste år. Hermed er det en yngling i forhold til det hæderkronede amerikanske fysiske selskab (APS), som jo har 100 års jubilæum i år. For at fortælle hvad EPS er, eller kunne være, er det måske nemmere at se på APS først. APS er rigt på basis af publikationsvirksomhed, er indflydelsesrigt med lobbyvirksomhed overfor de bevilgende myndigheder i Washington, arrangerer kæmpe fysikmøder om forskellige emner, The March Meeting for eksempel, har et fremragende medlemsblad, Physics Today osv. APS er baseret på faglige divisioner og grupper, kun i anden række på 'nationale' selskaber, selvom de findes; Texas naturligvis. APS har 'kun' ca. 40.000 medlemmer, inkl. dem uden for USA; jeg er for eksempel medlem og direkte vidne til deres generelle effektivitet.

EPS har hele 75.000 medlemmer, men så at sige ingen af de nævnte aktiviteter fungerer i dag, men det kunne og burde de. Fysik er international og mange problemer, som bedst kunne løses i fællesskab, er fælles for de europæiske fysikere. Det europæiske politiske system viser sig tydeligt i denne sammenhæng. EPS, startede i det små med individuelle medlemmer, så blev alle medlemmer af nationale selskaber automatisk medlemmer. EPS er derfor nu en fællesbygning for de nationale selskaber mv. uden dog at være en egentlig 'confederation'. Der er stor forskel på disse selskaber: Nogle er små, DFS f.eks.; andre er store og rige, Institute of Physics (IOP) for de engelsk talende lande med 25.000 medlemmer og store indtægter

og et fremragende medlemsblad, Physics World; Et er kæmpe stort, Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG), der på få år er vokset til 30.000 medlemmer, men det er uden egentlige indtægter; Frankrig er delt i småselskaber. Det er svært finde fodslag i dette nationale virvar. Forholdsvis ukendte er de faglige divisioner og faggrupper med relativt meget små medlems-tal, højst nogle få tusinde for de største.

EPS ledes af en 'executive committee', som jeg er medlem af, nomineret af de skandinaviske og baltiske selskaber og valgt af 'council'. Vi mødes godt fire gange om året. Denne komité er ansvarlig overfor council, der mødes en gang årligt med repræsentanter (med forholdsmæssigt antal stemmer) for alle deltagende fysiske selskaber samt faglige divisioner og grupper. Det daglige varetages af et lille sekretariat, som også står for redaktion og udgivelse af medlemsbladet Europhysics News (EPN), som medlemmer af DFS får sammen med 20.000 andre, men som vel at mærke ikke uddeles til medlemmerne af de store selskaber IOP eller DPG. Indtil i år har EPS haft en elendig økonomi. Men for to år siden besluttedes det at flytte sekretariatet fra det dyre Geneve til det billige Mulhouse, som ligger i en udkant af Frankrig med stor arbejdsløshed osv. Borgmester og universitet gav da også særdeles gode betingelser for at få EPS til byen. Det er desværre heller ikke særlig spændende eller fransk at tage til bestyrelsesmøder der i adskillige weekender om året; den lokale nationalret er skinke med sauerkraut! Men det blev væsentlig billigere, og nu har EPS et lille overskud og kan begynde at gøre noget. Faren er at den afslappede livsstil i området

- og franske IT-normer - smitter af på effektiviteten i EPS sekretariatet, noget jeg bestandigt forsøger at være efter, omend det ikke er mit direkte ansvarsområde.

På sekretariatet hænger en række på en snes billeder af tidligere præsidenter for EPS, nedenunder hænger en cirka ligeså lang række af kopier af Hewlett-Packard-Pris diplomer, som EPS står for. Det er spøjst at bemærke, at priserne især flød mod vore breddegrader, da Danmark havde præsidiat. Det er vigtigt, at danske fysikere er med hvor vigtige faglige beslutninger træffes. Jeg tænker her især på de faglige divisioner og grupper. Disse arrangerer konferencer og udstikker til en vis grad fronten inden for de faglige områder i europæisk fysik. Det er yderst betænkeligt at danske fysikere stort set ikke kender til eller er med i disse aktiviteter. Jeg har taget initiativ til at EPS opbygger et kommunikationssystem (via e-mail) således at divisioner og grupper kan komme i kontakt med alle potentielt interesserede og informere om deres aktiviteter, valg til bestyrelse osv. En glædelig ting er at Preben Alstrøm med executiv komitéens fulde opbakning, fik councils godkendelse til at starte en ny Division i Ulineær Fysik, med dansk formand. Det hjælper at DFS er med.

Det vil nok føre for vidt at opsummere alle aktiviteter i EPS, nævnes skal blot at ifølge strategiplanen står følgende emner højt på dagsordenen: Issues of professional physicists, next generation of physicists, public awareness, east-west cooperation, physics and un-

derdeveloped regions, communication within EPS and between divisions and members (min portefølje). Der til kommer forskellige aktionsgrupper, der blandt andet skal føre EPS ind i IT alderen, forslag til håndtering af elektronisk publikation etc., arrangement af 11'te generelle EPS konference i London, den 6.-10. september i år, osv.

Med tiden kunne EPS komme til at spille en betydelig rolle. EPN skal væsentlig forbedres og blive selv bærende. Kontakten til de bevilgende myndigheder i Bruxelles skal udbygges, divisionernes medlemstal og indflydelse mangedobles. Der er nok at tage fat på og det er vigtigt at de skandinaviske-baltiske selskaber er med til at præge denne udvikling, der snart er på vej. Forslag og kommentarer er velkomne til noget, jeg kunne tage op i EPS.



Per-Anker Lindgård er dr.scient. og netop genvalgt som medlem af EPS executive committee.

Forskningsfinansiering – en bemærkelsesværdig erfaring fra UK

Sir Arnold Wolfendale, præsident for Det Europæiske Fysiske Selskab (EPS)

Indledning

Størrelsen af et lands forskningsbevillinger er en indikator på landets videnskabelige tilstand. Efter en lang periode med stagnation – især for grundforskningen – er situationen i UK pludselig blevet forbedret bemærkelsesværdigt. Dette korte bidrag beskriver situationen, hvordan den opstod, og hvad der måske kan læres af den, i hvert fald i nogle lande.

Forskningsbudgettet i UK for 1999–2002

Selvom den nye regering ("New Labour"), der blev valgt i 1997, i valgkampen havde lovet at øge forskningsbudgettet, må det indrømmes, at det var en velkommen overraskelse, at dette rent faktisk skete.

Detaljerne er som følger: I årene 1999–2000, 2000–2001 og 2001–2002 vil væksten være henholdsvis 7,3%, 12,7% og 14,8%. Det sidstnævnte tal svarer til et totalt budget på 1,658 mia. engelske pund. Derudover bidrager "the Wellcome Trust" (en velgørende fond, som finansieres af et multinationalt farmaceutisk firma) yderligere med 400 mio. pund over den 3-årige periode.

En del af bevillingerne er øremærkede til specielle formål (f.eks. er 100 mio. pund øremærket til en ny Röntgen-synkrotronkilde i Daresbury), og der er taget særlige hensyn til biologisk forskning (f.eks. er de 300 mio. fra "the Wellcome Trust" afsat specielt til "medicinske" forskningsområder), men der er naturligvis et væsentligt element af fysik i disse aktiviteter.

Af særlig interesse er tildelingen af 600 mio. pund over de tre år til en "fælles infrastruktur fond". Denne fond er konstrueret til at hjælpe med at forbedre forskningsinfrastrukturen på britiske universiteter. "Infrastruktur" fortolkes i en bred forstand således, at det ikke alene dækker bygninger og større udstyr, men der er også enighed om at store teleskoper hører til i denne kategori. Ansøgningerne er for tiden ved at blive behandlet, og det vil blive specielt interessant at se, hvorledes fysik – i alle dens afskygninger – klarer sig.

Hvis han læser regeringens udtalelser om formålet med "the Science and Engineering Base" (SEB), så er der ingen tvivl om, at man foretrækker "anvendt" fremfor "ren" fysik. Dette er imidlertid uundgåeligt – og nogle vil sige, at det endog er ønskeligt. Regeringens mål er

- at skabe velstand
- at reducere omkostningerne ved at fjerne eller mindske medicinske og sociale problemer samt fødevarer-, landbrugs- og miljøproblemer.
- at øge livskvaliteten.

Andre, temmelig ordrige, udtalelser henviser til den internationalt konkurrencedygtige forskning, som øger UK's autoritet i forhandlinger, der har en videnskabelig eller teknologisk dimension. Denne forskning har en klar grundvidenskabelig komponent.

Regeringen er meget opmærksom på SEB's rolle i at producere højtuddannede personer og den betragter ph.d. uddannelserne på universiteterne som en væsentlig styrke i UK's forskning – ikke blot ved at producere fremtidens nøglepersoner, men også i kraft af den forskning de udfører.

Et vedvarende problem i UK – og andre steder – har været vores dårlige udnyttelse af den forskning, der udføres i landet. De eksisterende programmer, som skaber kontakt mellem industrien og universiteterne bliver nu yderligere forbedret. De nuværende og nye programmer giver ikke alene støtte til fælles forskning og udvikling, men også til konstruktion af prototyper, udarbejdelse af forretningsplaner, juridiske omkostninger osv. Ingen med en ide til "en bedre musefælde" skal mangle midler.

A pro pos musefælder, så er der en interessant ost i fælden: hvis der er industristøtte i ens arbejde, så har man en chance for at modtage en særlig pris – ROPA ("Realising Our Potential Award"). Disse priser gives for grundforskning og har været meget motiverende for universitetsansatte. Programmet startede i 1994, og indtil nu er der uddelt 109 mio. pund. Efter en langsom start, er fysik kommet godt med.

Hvad kan andre europæiske lande lære?

Med risiko for at virke anmassende, vil jeg gerne foreslå nogle ideer, som kan være af værdi for mine europæiske venner, især dem, hvis forskningsindsats lider under mangel på midler.

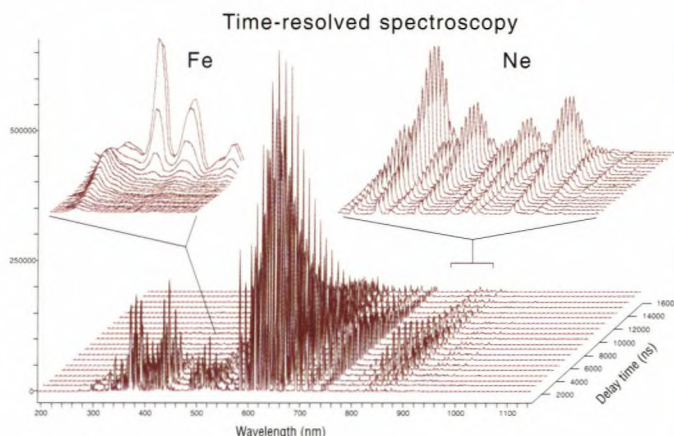
THE MECHELLE SPECTRAL SYSTEMS



Our spectrograph system, with optional fibre optic input, combined with the latest CCD/ICCD technology, offers a number of unmatched features.

- Simultaneous spectral recording from 200 to 1100 nm. No scanning or moving parts.
- Multichannel time-resolved recordings from 3 ns.
- No overlapping wavelengths and true spectral continuity.
- High constant spectral resolution (CSR™) 0.04 nm at 300 nm.
- Compact, rugged and portable.
- Compatible with GRAMS/32™ and other laboratory software.

For more information about the Mechelle™, please contact us or visit our Homepage



Tel: +46 8 605 70 90

Fax: +46 8 605 71 01

Homepage: www.multichannel.se

E-mail: mechelle@multichannel.se

Bliv ved med at presse din regering. I UK har vi en pressionsgruppe – SBS (“Save British Science”) – som mange af os tilhører, og som har arbejdet hårdt for at få politikerne til at se videnskabens behov.

De rigere lande kan bruge det argument, at hvis Storbritannien kan give forskerne flere penge, så må vi i hvert fald også kunne. Vi har selv brugt dette argument, hvor vi gentagne gange har brugt USA, Japan, osv. som sammenligning.

Arbejd hårdt med den folkelige forståelse af forskningen. Det er afgørende at få offentligheden på vores side. Hvis I ikke allerede har en national videnskabs-festival, så få en. I UK deltager omkring en million mennesker hvert år i et udvalg af arrangementer i denne festival.

Bliv ved med at understrege værdien af fysik som

støtte for biologien i dens mange former. Medmindre du er fuldstændig overbevist om, at du har en chance for at opdage en ny tilstandsform eller en ny naturkraft, så skal du i det mindste overveje at ændre din forskning til noget, der har betydning for menneskets forhold. Mange af os, måske de fleste, lagde kursen for vores forskning ved et tilfælde.

Jeg støtter fuldt ud CERN og ESA, men hvis vi skal holde fysikforskningen i live i nogle af vore fattigere lande, er det nødvendigt at tage drastiske midler i brug, og andre områder vil have brug for mere støtte.

Prøv at sikre, at der udvikles en opfattelse i skolerne, hvor fysik bliver betragtet som en glimrende uddannelse til et stort antal erhverv - og ikke blot indenfor forskning.

Oversættelse: Kvant.

Generalforsamling i Dansk Fysisk Selskab

Jens Olaf Pepke Pedersen, Formand for DFS

Dansk Fysisk Selskab afholder sin generalforsamling på Hotel Nyborg Strand fredag den 4. juni kl. 13.30. Kvant bringer her en skriftlig beretning fra formanden. Der kommer dog også en mundtlig beretning på generalforsamlingen.

Et begivenhedsrigt år

Det har været et begivenhedsrigt år for Dansk Fysisk Selskab – og også for dansk fysik og naturvidenskab. Men mens det har været et godt år for DFS, kan man næppe sige, at det har været et godt år for dansk naturvidenskab. Naturvidenskaben er trængt, både fra politisk hold og fra en generel udvikling, hvor unges interesser går udenom naturvidenskab. Ganske vist mangler der ikke positive udmeldinger fra hverken forsknings- eller undervisningsministeren. Men der er ikke megen handling bag udmeldingerne. Problemet er ikke den totale forskningsbevilling, men en kortere og kortere tids-horisont, hvor pengene følger programpakker med få års løbetid. Imens reduceres de faste bevillinger til f.eks. universiteterne.

Det tager imidlertid mange år at bygge et godt forskningsmiljø op, og hvis vi skal kunne tiltrække forskere også i fremtiden er det nødvendigt, at forskningsmiljøerne ikke forringes yderligere. De sidste års besparelsesrunder indenfor naturvidenskab på f.eks. KU har ikke gjort det mere attraktivt at gå igang med et naturvidenskabeligt studie – og man kan frygte, at der er sat en selvforstærkende udvikling igang, når vi ser nuværende studerende gå ud og advare kommende studerende mod at begynde på et naturvidenskabeligt studie samtidig med at vi i løbet af en overskuelig årrække vil mangle f.eks. gymnasielærere inden for naturvidenskaben.

Medlemsudviklingen

Medlemsudviklingen i DFS har i en årrække været vigende, og det er naturligvis beklageligt, da DFS er et medlemsdrevet selskab, hvis succes er afhængig af en stor medlemsskare – og deres frivillige arbejdskraft. Medlemstallet er således faldet støt fra 806 medlem-

mer ved udgangen af 1992 til 560 medlemmer ved udgangen af 1997. Til gengæld er alle medlemmerne “reelle”, idet medlemsregisterfører Bjarne Andresen med hård hånd sletter de medlemmer, der ikke betaler kontingent. Alene i 1998 blev der således slettet 45 medlemmer, der selv efter to rykkere ikke havde betalt kontingent. Jeg vil her gerne takke Bjarne for hans indsats med at vedligeholde medlemsregisteret og for med stor omhu at besvare alle de mere eller mindre venlige henvendelser vi modtager fra medlemmerne i forbindelse med kontingentbetaling, flytning, udeblevne Kvant'er osv.

For at vende udviklingen i medlemstallet igangsatte vi i midten af 1998 forskellige hvervningsinitiativer, bl.a. fik alle årsmødedeltagere, som ikke var medlemmer af DFS (og det var mere end halvdelen!) en hilsen fra formanden samt en opfordring til at melde sig ind i selskabet. I skyndingen fik vi endda også sendt opfordringer til et par årsmødedeltagere, der allerede var medlemmer! I efteråret opfordrede KIF deres medlemmer til at melde sig ind i DFS, og der blev gennemført en række uddelinger af Kvant på institutter og arbejdspladser.

Ved udgangen af 1998 kunne vi derfor glæde os over, at udviklingen i medlemstallet var vendt, idet DFS sluttede året med 601 medlemmer. Vi har fortsat initiativerne i 1999 - bl.a. uddelte vi alene i januar over 2.000 stk. Kvant sammen med en opfordring om medlemsskab, og det er nu også muligt at melde sig ind i selskabet via vores hjemmeside. Det sidste initiativ har bl.a. medført, at vi har fået en pæn tilgang af medlemmer fra alle egne af landet og også nye grupper af medlemmer, bl.a. gymnasielærere, gymnasieelever, HTX studerende, seminariestuderende m.m. Ialt er der i de første fire måneder af 1999 kommet en tilgang på ca. 90 nye medlemmer, så der er begrundet håb om, at vi også kan øge medlemstallet i 1999.

Kommunikationen med medlemmerne

Hvis vi imidlertid skal fastholde de nye medlemmer fremover, må vi samtidig sørge for, at medlemmerne også oplever, at de får noget ud af deres medlemsskab. På sidste generalforsamling blev der således givet udtryk for, at kommunikationen til medlemmerne var

for dårlig. Vi har derfor arbejdet på at forbedre denne på flere områder: Siden årsmødet har der således i hvert nummer af Kvant – der jo er medlemsblad for DFS og SNU – været nogle sider med informationer fra DFS (og jeg kan i øvrigt fortælle, at der i denne forbindelse har været en meget god kommunikation mellem DFS's formand og Kvant's redaktør). Desuden har DFS's hjemmeside fået et nyt og flot design således at den er blevet et vigtigt redskab i kommunikationen med medlemmerne. Ikke mindst op til årsmødet bliver hjemmesiden flittigt brugt, bl.a. til de seneste opdateringer af programmet. Vi skylder her Michael Linden-Vørnle en stor tak for hans indsats med hjemmesiden! Endelig har vi igangsat et projekt, hvor vi vil få mulighed for at kunne kommunikere direkte med medlemmerne pr. e-mail. Første etape af dette projekt var at få konverteret det gamle DFS register (der i øvrigt også omfatter alle abonnenter på Kvant) og lavet en web-kobling. Denne del er nu på plads takket være Per Hedegård. Næste etape bliver at kombinere dette register med en elektronisk postliste, således at udpegede personer kan benytte den. Det vil således også blive muligt at skrive direkte til medlemmerne af en enkelt sektion. Det vil naturligvis også blive muligt, at frabede sig e-mails fra selskabet, men i første omgang forestår der i løbet af 1999 et stort arbejde med at indsamle e-post adresserne.

Bestyrelsen

Ansvar for DFS's arbejde ligger hos bestyrelsen, der i det forgangne år udover formanden har bestået af Dorthe Posselt, næstformand, Nis Bjerre, kasserer, Preben Alstrøm, Peter Bodin, Karsten W. Jacobsen, Ole Mouritsen og Poul V. Thomsen. Størstedelen af bestyrelsesarbejdet foregår via e-mail, men der har i årets løb været afholdt to bestyrelsesmøder. Desværre har Peter Bodin i forbindelse med årsmødet i år ønsket at trække sig fra bestyrelsen på grund af manglende tid, og jeg vil derfor sige tak til ham for hans indsats for selskabet i mange år. Peter har bl.a. haft ansvaret for firmaudstillingerne på årsmødet i år og sidste år.

Det daglige bogholderi varetages fra Århus af Adda Larsen, mens Lene Körner fra København registrerer og sender velkomsthilsener til nye medlemmer.

DFS har et omfattende arkiv (selskabet blev grundlagt i 1972), og arkivet fra perioden 1972-88 har i en lang årrække været opbevaret af selskabets tidligere formand, Peter Sigmund, mens materialet siden 1988 er gået i arv fra formand til formand og arkiveret efter ret individuelle systemer. For at sikre materialet for eftertiden har Peter Sigmund taget initiativ til at arkivet kan blive overført til Niels Bohr Arkivets samlinger. Niels Bohr Arkivet er netop flyttet til nye og bedre lokaler og har allerede en samling efter Fysisk Forening. Fysisk Forening er langt ældre end DFS og havde Niels Bohr som formand i adskillige længere perioder. DFS er dog ikke en direkte efterfølger, idet Fysisk Forening i en tid fungerede som en sektion under DFS.

Mødeaktiviteter

DFS's årsmøde er den absolut største begivenhed i foreningsåret og samler en stor del af dansk fysik. Pr. 1. maj var der således indsendt ca. 150 bidrag til årsmødet, som vil blive præsenteret enten som foredrag eller i en postersession. Planlægningen af årsmødet foretages af et "årsmødeudvalg", som består af DFS's bestyrelse samt repræsentanter for IJAF (SNF's Instrumentcenter for Jordbaseret Astronomisk Forskning) og Dansk Geofysisk Forening. Jeg glæder mig specielt over, at geofysikerne, der deltog i årsmødet 1998 med egne sessioner, har ønsket at deltage igen i år, samt at DFS's sektion for Uddannelse og Undervisning deltager med egne sessioner i år.

Gennem en lang årrække har vi vænnet os til at SNF stillede en underskudsgaranti for årsmødet, men de sidste to år har vi fået afslag på vores ansøgning herom, hvorfor det har været vanskeligt at financiere de udenlandske foredragsholdere. Årsmødet 1998 endte derfor med en nettoudgift for foreningen, og i år har vi derfor valgt at hæve deltagerpriserne, men til gengæld indføre

en rabatordning for DFS-medlemmer, som jo via deres kontingent bidrager til årsmødets udgifter. Vi prioriterer det fortsat højt, at studerende kan deltage i årsmødet, og vi har derfor (sammen med IJAF) givet fripladser til alle studerende, der var tilmeldt pr. 15. april.

Udover årsmødet arrangerer DFS et årligt fysik-sommerkursus af en uges varighed på Sorø Akademi for gymnasieelever i 2.g. Sidste år blev det afholdt for tiende gang under hovedtemaerne "Lys og Liv" og "Den levende Jord". Kurset blev arrangeret af Nils O. Andersen, Britt Larsen, Klaus Mosegaard og Christian Rischel.

DFS's vinterskole for Ph.D. studerende blev afholdt for syvende år i træk, og samler en stor del af de danske Ph.D. studerende. Denne vinter blev kurset arrangeret af Aksel Stenholm Jensen og Per Hedegård.

DFS's sektioner har været aktive på forskellig vis i årets løb. En vigtig opgave for sektionerne er at sammensætte deres del af programmet for årsmødet. KIF afholder desuden sit eget årsmøde forud for DFS's årsmøde og udsender et nyhedsbrev til netværksmedlemmerne. Sektionen for Uddannelse og Undervisning har afholdt konferencen "Er der grund til at undervise i fysik?" den 12.-13. november 1998.

I efteråret afholdt DFS sammen med Videnskabernes Selskab et fællesmøde i anledning af 50-året for udgivelsen af Niels Bohrs afhandling om "Penetration of Atomic Particles through Matter", hvad dette nummer af Kvant i øvrigt bærer præg af.

Internationalt samarbejde

DFS er medlem af det europæiske fysiske selskab (EPS), og medlemmerne modtager i kraft af dette tidsskriftet "Europhysics News" (EPN). Helt personligt synes jeg, at EPN er lidt kedeligt sammenlignet med Kvant, men EPN er nu ved at skifte forlag, og der er derfor håb om, at det fremover bliver lidt mere attraktivt. Vi vil gerne synliggøre EPS mere overfor medlemmerne, og i dette nummer af Kvant har vi derfor bedt Per-Anker Lindgård om at skrive om EPS ligesom EPS's præsident, Sir Arnold Wolfendale, skriver om forskningspolitik i UK. DFS har de senere år fået en meget central placering i EPS, da Per-Anker Lindgård er medlem af EPS's "executive council" og Preben Alstrøm er formand for en af EPS's divisioner, og vi har derfor gode muligheder for at påvirke udviklingen i EPS.

DFS's bestyrelse fungerer også som den danske nationalkomite for fysik, og indstiller i kraft heraf også medlemmer til udvalgene under den internationale union for fysik (IUPAP). Danmark har hidtil været repræsenteret i fire af IUPAP's udvalg, men desværre lykkedes det på den sidste generalforsamling i IUPAP ikke at fastholde dette antal. De næste tre år er vi dog repræsenteret i udvalget for magnetisme ved Kurt N. Clausen og i udvalget for struktur og dynamik af faste stoffer ved Jakob Bohr. På generalforsamlingen blev det i øvrigt vedtaget, at IUPAP skulle nedsætte en arbejdsgruppe, der skal undersøge kvinders forhold indenfor fysik.

Vi har traditionelt haft et godt samarbejde med de fysiske selskaber i de andre nordiske lande og deltager også i arbejdet i en nordisk-baltisk kontaktgruppe, som blev dannet på initiativ af Paul Hoyer i 1995. I nogle år har DFS desuden betalt en del af EPS-kontingentet for Letland og Litauen, men jeg mener, at vi på sigt bør afvikle denne støtte.

DFS i fremtiden

DFS har et godt udgangspunkt for at udvikle sig fremover. Vi vil naturligvis ikke kunne nå op på siden af de store professionelle fysikelskaber i Tyskland, USA eller UK, men vi kan lære af dem, og DFS kunne på flere områder godt optræde mere professionelt. Jeg vil derfor i det kommende år arbejde for, at DFS påtager sig en mere aktiv rolle og sætter nogle nye initiativer igang som kan øge synligheden og nytteværdien af selskabet. Jeg vil derfor på årsmødet lægge op til en diskussion af "DFS i fremtiden".

Dansk Fysisk Selskabs regnskab for 1998 kan ses på hjemmesiden www.nbi.dk/dfs, hvor du også kan se årsmødeprogrammet, melde dig ind i DFS, tegne abonnement på Kvant og meget andet

Fri-elektron laseren



I dette nummer af Kvant kan du læse tre artikler om udviklingen af Niels Bohrs stødteori, og dens betydning for kollisionsfysikken. Du kan også læse om generalforsamlingerne i SNU, DFS og EPS.

Figuren her viser et 3D-billede af en gifttand fra en edderkop, sammensat af 60 rekonstruerede tværsnit. I artiklen på side 16 kan du bl.a. læse, hvordan det med en fri-elektron laser er muligt at lave et mikroskop med en meget høj opløsning.

I næste nummer af Kvant, der udkommer til september, fortsætter vi dette tema med en række artikler om lagerringen/synkrotronen ASTRID ved Aarhus Universitet. Bl.a. skriver Robin Medenwaldt om røntgenspektroskopi med en opløsning på 30 nm. Søren Pape Møller fra Institut for Lagerringsfaciliteter og ISA vil være medredaktør på dette nummer.

Kontingent til år 2098?

Et af DFS's medlemmer – med arbejdsplads på Risø – har via sin homebank her i foråret været så gavmild at overføre 32.500,00 kr. til foreningen i stedet for det normale kontingent på 325,00 kr. DFS's kasserer har naturligvis straks takket for indbetalingen og vil nu undersøge, om det velhavende medlem har ønsket at give en god gave til foreningen eller blot villet forudbetale kontingentet for de næste 100 år.

Fysik er svært!

Af Niels Kristian Højerslev, Geofysisk Afdeling, Niels Bohr Institutet for Astronomi, Fysik og Geofysik.

For 20 år siden udtrykte Dansk Fysisk Selskab bekymring over den svigtende tilgang til faget fysik. Man forstod ikke, hvorfor de unge svigtede et fag, som endog fandt selvstændig anvendelse indenfor fag som astronomi og geofysik. Ydermere var fysik nærmest at opfatte som grundstammen i al naturvidenskab, ikke sandt?

I dag er vi næppe blevet klogere, men der bydes på mange forklaringsmodeller, og her kommer så min. Hypotesen er den enkle, at fysik på det nærmeste er et unyttigt og overflødigt fag, som det til gengæld tager lang tid at lære. Fysik er et mandarinsprog for få indviede, og det gælder langt ind i de naturvidenskabelige rækker – også på landets universiteter. Fysik kan bruges til at legitimere en faglig tekst, og så er det i øvrigt aldeles ligegyldigt, hvad der bringes i teksten. Det er denne despekt for fysik, der er blevet til fagets deroute. Tillad mig et eksempel med en folkeskoleelev samt en seminarieelev, der skal beskæftige sig med alternativ solenergi under faget Natur & Teknik. Seminarieeleven finder en biblioteks-bog med titlen "Alternativ energi for dig, lette ideer 2". Forordet tegner godt: "Denne bog forsøger kort at redegøre for teorien bag de 4 vigtigste energiformer: sol, vind, vand og biogas ...". Siden kommer kapitlet om Solenergi:

"Solen er kilde til næsten al energi på jordkloden. I solens indre sker der en energi udvikling, og den solenergi, vi hvert år modtager på jorden, er ca. 22.000 gange større end vores energiforbrug.

*Den energi, der er oplagret i solen, kaldes **potentielt energi** (be-liggenhedsenergi). Gennem den proces, der sker i solens indre, om-sættes energien til bevægelse. Energien kaldes nu **kinetisk energi** (bevægelsesenergi)."*

Så fik vi det sat på plads. Og herefter er det blot at udnytte solenergien ved at opsamle solstrålerne ifølge forfatterne. Det gør man eksempelvis ved at beklæde en aflagt paraply med stanniol, som tjener som parabol (det skal man godt nok læse i en anden bog, men af de samme forfattere). Jeg kunne godt tænke mig at se en sådan paraply brugt i praksis. Forfatterne fortæller os læsere, at alt er afprøvet i praksis, men jeg tror dem ikke!

Den fokuserende solfanger får et par ord med på vejen: "Ved en lufttemperatur på 24 grader er temperaturen i brændpunktet 450 grader. En aflang fokuserende solfanger giver en hel linie af brænd-punkter, hvor der kan anbringes et vandrør. Det opvarmede vand (5-700 grader) kan anvendes til f.eks. husopvarmning, hvis det bliver blandet med koldt vand."

Skoleeleven i f.eks. 5. klasse kan siden hjælpe til med at få mest ud af solfangeren, for solhøjden spiller ind i alt dette her. Man skal bare have fat i en gnomon, for det står der noget om i lærebogssys-temet "sigma", der næsten er ligeså gammelt som folkeskolen selv. En gnomon "er noget med en pind", som slet ikke hedder "gnomon", men "gnomon". Er De forvirret, eller er det ikke lige-gyldigt, hvad man kalder tingene? Herregud, det er jo bare børn, og de får aldrig brug for at kende forskellen på en ikke-eksisterende gnomon og en gnomon.

Det er præcis den overfladiskhed og ligegyldighed jeg an-griber. Den kommer ind med modernismen, og hvad i barndommen nemmes skal aldrig i alderdommen glemmes ifølge det gamle ord-sprog. Det er på denne "slagmark", at fysik lider sit store nederlag. Og rigtigt er det, at man klarer sig fint uden fysik, men med vit-terligt vås, hvilket var min hele pointe. Fysik er ret beset et ganske overflødigt fag i ganske mange sammenhænge, hvilket da også er de unges opfattelse af sagen. Her er de unge vælgere helt på linie med et flertal af politikere samt et par ministre, for det viser al erfaring og alle realiteter.