

# KVANT

juni  
1990 1

---

Fysisk Tidsskrift

1. årgang

---



KVANT: ET NYT FYSISK TIDSSKRIFT • HVAD SKETE DER MED DEN KOLDE FUSION •  
FRAKTALER OG  $1/f$  STØJ • FIBEROPTISKE FORSTÆRKERE • NY VOLT, NY OHM, NY  
TEMPERATURSKALA • INDVIELSE AF LAGERRING • KLYNGER AF ATOMER OG MOLEKY  
LER • ZENONS PARADOX

# KVANT

## Fysisk Tidsskrift

Det fysiske Institut  
Ny Munkegade  
Aarhus Universitet  
DK-8000 Århus C

Udgives af

Dansk  
Fysisk  
Selskab



Selskabet for  
Naturlærens  
Udbredelse



Redaktion

Jørgen Friis Bak (ansv.)  
Torsten Freltoft  
Mogens Esrom Larsen  
Finn Berg Rasmussen  
Ove Østergaard

KVANT udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.

Abonnementspris: 135 kr/år (i Danmark).

Annoncepriser

1/1 side	3000 kr
1/2 side	1600 kr
1/4 side	1000 kr
Farvetillæg	1500 kr

Priserne er excl. moms og gælder for reproklart materiale.

Oplag: 2000

Tryk: AKA-print

## Indhold:

Kvant og Dansk Fysisk Selskab

- Bent Elbek* . . . . . 1  
Større vægt på formidling
- Dorte Olesen* . . . . . 1  
Hvad hændte der med den kolde fusion?
- Bent Elbek* . . . . . 3  
For et år siden var der stor blæst om den kolde fusion. Nu har tavsheden sænket sig - hvad skete der egentlig?
- Fraktaler og 1/f støj, to sider af samme dynamiske tilstand
- Henrik Jensen* . . . . . 5  
Formen på et bjerg med kløfter og bjergkamme er et eksempel på en fraktal struktur, mens variationen af vandstrømmen i en flod er et eksempel på et støj-spektrum. De to arter af komplekse strukturer i naturen kan have en fælles årsag.
- Fiberoptiske forstærkere
- Cristian Larsen* . . . . . 10  
Lysledere anvendes i stadig højere grad til kommunikation. I den forbindelse vil en ny type forstærkere, der direkte forstærker lys, være af stor interesse.
- Ny volt, ny ohm, ny temperaturskala
- Finn Berg Rasmussen* . . . . . 14  
Fra begyndelsen af dette år er der indført nye definitioner på disse måleenheder. Vandets kogepunkt er sænket med 0,026 °C.
- Lagringen i Århus
- Jørgen Friis Bak* . . . . . 17  
En maskine, hvor ioner og elektroner kan lagres, er blevet taget i brug ved det nyoprettede center for synkrotronstråling i Århus.
- Klynger af atomer og molekyler
- Sven Bjørnholm* . . . . . 20  
Kimen til en krystal er en samling atomer. Når små antal atomer samles er der visse magiske antal, der giver meget stabile klynger.
- Zenons Paradox
- Mikkel Thorup* . . . . . 24  
Hvad ligger der egentlig bag Achilleus' jagt på skildpadden? Der er mere end blot den matematiske forklaring.
- DEBAT . . . . . 28  
Forskning i dansk industri, *Søren Isaksen*  
KVANT - et tidsskrift om fysik  
*Jørgen F. Bak* . . . . . Bagsiden

## Forsiden

Siderne på en bunke sand kan være mere eller mindre stejle. Hvis siden er for stejl vil sandet skride ud, hvorved hældningen nedsættes. Et enkelt sandskorn kan være nok til at hældningen på et givet sted bliver for stor: sandet vil så skride nedad. Herved kan hældningen nedenfor blive for stejl - med yderligere nedskridning i form af en lavine.

I princippet kan sandbunken være i en kritisk tilstand: overalt er hældningen maksimal, så tilføjelsen af et enkelt sandskorn et hvilket som helst sted vil udløse en lavine.

Dette eksempel beskriver ideen bag den "selvorganiserede kritiske tilstand", der behandles i artiklen "Fraktaler og 1/f-støj: to sider af samme dynamiske tilstand".

# KVANT og Dansk Fysisk Selskab

*Bent Elbek, formand for Dansk Fysisk Selskab*

Det er en stor og glædelig begivenhed for alle fysikere i Danmark, at det nu er lykkedes at skabe et nyt fysikblad. Et blad som kan afløse, men også fortsætte, det hæderkronede "Fysisk Tidsskrift".

Fysiken er idag spredt ud over hele Danmark. Der er fysikere på små og store universiteter og lærestalter og ved skoler over hele landet. Også fysikernes arbejdsområde er blevet udvidet så man finder fysikere ansat ved offentlige institutioner, ved myndigheder og i private virksomheder. De væsentligste aktiviteter ligger her langt fra den forskning og undervisning som tidligere var fysikernes eneste virkefelt i Danmark.

Dansk Fysisk Selskab søger at samle alle danske fysikere i et fællesskab. Men vi har savnet et bindeled. Det får vi nu med KVANT. KVANT kan bringe foreningsnyheder og oplysninger og det må selskabet og dets sektioner søge at udnytte fuldt ud. Vi ser også frem til, at KVANT gennem aktuelle og læseværdige artikler kan holde os orienteret om, hvad der sker indenfor fysiken både her i landet og internationalt. KVANT vil være det sted, hvor man kan skrive

om fysik på dansk og som derfor kan medvirke til, at vi opretholder en dansk terminologi for vort fag. Dette har ikke mindst betydning for undervisningen på alle niveauer.

I indeværende år vil medlemmerne af Dansk Fysisk Selskab modtage KVANT gratis, idet abonnementet betales af den kapital som selskabet har opsparet til at lette opstarten af bladet. Men fra næste år må der findes yderligere midler og man må påregne en vis kontingentforhøjelse. Dette er nødvendigt for at bladet, som besluttet af selskabets generalforsamling, kan fungere som et medlemsblad som alle modtager.

Dansk Fysisk Selskab byder det nye blad velkommen og udtrykker håbet om, at vore medlemmer vil tage vel imod det. Vi kan bidrage til dets succes ved at skaffe abonnenter udenfor selskabet og ved støtte til annoncetegning. Men abonnenter og annoncer vil komme af sig selv, hvis bladet bliver interessant for læserne. Dette er et mål som redaktionen klart har for øje. Vi kan hjælpe den, hvis vi alle opfatter bladet som et naturligt organ for dansk fysik og selv bidrager med gode ideer, artikler og indlæg.

## Større vægt på formidling

*Dorte Olesen, præsident for Selskabet til Naturlærens Udbredelse*

At Selskabet for Naturlærens Udbredelse - SNU - nu går sammen med Dansk Fysisk Selskab om at udgive et nyt tidsskrift er et udtryk for at Selskabet gennem de senere år i stigende grad har interesseret sig for at formidle til bredere kredse.

Et andet initiativ i denne retning har været beslutningen om i fem år at uddele H.C.Ørsted Medaljen i sølv til en dansk videnskabsjournalist.

I 1988 gav Selskabet medaljen til redaktør Niels Blædel, Naturens Verden, og i 1990 til Jens J. Kjærgaard på Berlingske Tidende. Dette har naturligvis været en anerkendelse af to enkeltpersoners fremragende indsats indenfor videnskabsjournalistik. Men samtidig har Selskabet ønsket at markere, at vi finder det utroligt vigtigt, at også svære fag som fysik, matematik og kemi bliver formidlet både gennem dagspressen og gennem særlige tidsskrifter.

Selskabet har altid lagt vægt på formidling - både mundtlig og skriftlig. Dette går helt tilbage til grundlæggelsen i 1824, hvor netop dette formidlingsaspekt var helt centralt for H.C.Ørsted. H.C.Ørsted var selv sprogets mester og samlede fyldte auditorier i sine offentlige forelæsninger. I dag er forelæsninger stadig aktuelle, men andre medier har

overtaget deres rolle, når det gælder massekommunikation. Det gælder såvel fjernsyn som tryksager. Det er derfor helt naturligt for selskabet nu at fokusere mere på disse medier.

Ved årets udgang tager selskabet afsked med sit tidsskrift gennem 87 år, Fysisk Tidsskrift. Dets rolle overtages gradvis af KVANT og samtidig gøres målgruppen bredere. Selskabernes egne medlemmer modtager bladet automatisk, i forbindelse med en kontingentforhøjelse. Men herudover håber vi at se mange nye abonnenter. Ikke mindst gymnasieelever og -lærere håber vi at se flere af blandt vore læsere.

Den gamle redaktion af Fysisk Tidsskrift har selv ønsket at lade opgaven gå videre til nye kræfter, og i et samarbejde med Dansk Fysisk Selskab er det lykkedes at finde en idealistisk og bredt sammensat redaktion indenfor dansk fysik, med et islæt af matematik.

Vi er naturligvis glade for, at den nye redaktion har villet tage denne udfordring op. Samtidig er vi meget taknemmelige for den støtte, som Augustinus Fonden, Thomas B. Thriges Fond og Niels Bohr Legatet har givet starten af det nye tidsskrift, og som har muliggjort et smukkere layout og en bredere distribution end hvad de to selskaber selv ville kunne financiere.

VI ØNSKER LÆSERNE VELKOMNE OG HÅBER, AT MANGE UDENFOR SELSKABERNES KREDS VIL TEGNE ABONNEMENT.



Her fremstilles en superledende tyndfilm  
(Foto Peter Høghøj).

# Superledere Diamanttyndfilm Optiske fiberforstærkere

I NKT's udviklingscenter i Brøndby arbejder vi med en række forskningsbetonede udviklingsprogrammer.

Alene kan vi dog ikke gøre det. Vi samarbejder, hvor vi kan, med universiteter og læreanstalter i ind- og udland, så vi kan være med helt fremme ...

## NKT

NKT Allé 1 · 2605 Brøndby

### Høj-T. Superledning

- Fremstilling af grundmaterialerne: Y-Ba-Cu-O, Bi-Sr-Ca-Cu-O, Tl-Ba-Ca-Cu-O
- Fremstilling af superledende tyndfilm på niveau med de bedste i verden
- Arbejde med design og fremstilling af superledende komponenter
- Eksperimenter med superledende tråde til transport af elektrisk strøm.

### Diamanttyndfilm

- Arbejde med processer til belægning af forskellige overflader med diamant eller diamantlignende film
- Fremstilling af diamantfilm dels med en flamme CVD proces, og dels v.h.a. laserforstøvning af grafit
- Ved diamantbelægning opnås en betydelig forbedring af bl.a. slidstyrke, varmeledning og friktionsegenskaber.

### Optiske fiberforstærkere

- Design af fiberoptiske systemer, der kan overføre data 300 km uden regenerering
- Udvikling af optiske fiberforstærkere, dvs. en fiberbaseret komponent, der virker ved, at det optiske signal forstærkes *inde* i fibren
- Et stykke erbiumdoteret fiber udgør et lasermedium, der kan pumpes med en halvlederlaser. Ved passage af det doterede område opnås stimuleret emission, og dermed forstærkning.

### Molecular engineering

- Arbejde med moderne teknikker, hvorved organiske molekyler med skræddersyede egenskaber kan fremstilles
- Første aktivitet inden for dette felt er arbejde med *ledende polymerer*
- Iodotering af f.eks. poly-pyrrol eller poly-acetylen bevirker, at polymeren bliver elektrisk ledende.

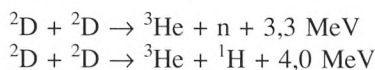
# Hvad hændte med den kolde fusion?

Bent Elbek, Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet

## Sensationerne

Videnskabens historie rummer mange eksempler på, at selv betydelige gennembrud er blevet overset, i hvert fald for en tid. Sådan var det ikke med den kolde fusion. Her var der fra hele affærens begyndelse i foråret 1989 fuldt projektørlys på begivenhederne og hektisk aktivitet i laboratorier over hele verden. Nu, et år efter, må man konstatere at sensationen er fuset, så den kolde fusion af de fleste betragtes som et bizart intermezzo i videnskabens historie, hvor alt for mange forsyndede sig mod en eller flere grundregler for god videnskabelig skik. Såsom, at man ikke offentliggør videnskabelige resultater på pressekonferencer eller, at man aldrig skal have så travlt med at publicere, at der ikke er tid til endnu en efterprøvelse af uventede måleresultater.

Lad os kort repetere det som skete. Den 23. marts 1989 meddelte to velrenommerede elektrokemikere, Martin Fleischmann fra University of Southampton og Stanley Pons fra University of Utah, på en pressekonference om nogle overraskende iagttagelser. I et simpelt elektrolyseforsøg med tungt vand som elektrolyt og en palladiumstang som katode, havde de iagttaget overskudsproduktion af varme, produktion af neutroner og produktion af tritium. Disse fænomener har selvsagt intet at gøre med almindelige elektrokemiske processer, og Pons og Fleischmann konkluderede, at der i elektrolysecellens palladiumkatode var foregået fusion af deuteriumkerner ved reaktionerne



For at forklare den frigjorte varme postulerede man desuden forekomsten af en hidtil ukendt type kernereaktion. En kortfattet rapport om resultaterne blev samtidig med pressekonferencen sendt til et videnskabeligt tidsskrift<sup>1</sup>.

Påstanden om, at man på så simpel måde og ved stuetemperatur kunne iværksætte kernereaktioner, var særdeles overraskende, i hvert fald for kernefysikere. Almindelig kernefysisk indsigt fortæller, at fusion af lette atomkerner til tungere enten kræver meget høj kinetisk energi af de fusionerende kerner, sådan som man opnår det i de store fusionsanlæg af Tokamaktypen, eller at de fusionerende kerner bringes meget tæt på hinanden, sådan som det sker i muon-katalyseret fusion, som er en faktisk forekommende type kold fusion, hvor en enkelt muon kan katalysere op til 150 fusioner<sup>2</sup>.

Men selv om palladium er kendt for at kunne indeholde meget store mængder hydrogen, op til et hydrogenatom pr. palladiumatom, så er afstanden mellem hydrogenatomerne stadig omkring 3 Å, hvilket er meget større end afstanden mellem atomerne i et deuterium molekyle, hvor den er 0,74 Å. Og for D<sub>2</sub>-molekylet kan man ved almindelige

kvantemekaniske metoder beregne sandsynligheden for, at to deuteriumkerner fusionerer, omend med nogen usikkerhed<sup>3</sup>. Sandsynligheden findes at være omkring 10<sup>-64</sup>s<sup>-1</sup>. Det vil sige, at man kan observere i mere end universets levetid uden at forvente at se så meget som en enkelt fusion i 1 g D<sub>2</sub>, hvilket nogenlunde er den mængde, som var til stede i Pons og Fleischmann's palladiumstænger. Så normalt ville den fremlagte sensation formentlig hurtigt være blevet glemt igen. Den historie var for usandsynlig.

Men der skete mere. Samme dag som Pons og Fleischmann afholdt pressekonference indsendte et forskerhold fra Brigham Young University, også i Utah, en artikel<sup>4</sup> til *Nature* med titlen "Observation of cold fusion in condensed matter". Her fremlagde man observationer med et apparatur, som mindede om det af Pons og Fleischmann anvendte, idet katoden dog i visse eksperimenter var af titan. Observationerne viste en lille, men, efter forskernes opfattelse, signifikant flux af neutroner. Denne forskergruppe var under ledelse af Steven E. Jones og han er ikke en hr. Hvemsomhelst indenfor fusionsforskningen, som han har beskæftiget sig med i mange år. Han har blandt andet bidraget til vigtige undersøgelser af den muon-katalyserede fusion<sup>2</sup>. Artiklen fra Jones *et al* bærer imidlertid præg af at være blevet til i stor hast. Selv om der vises et spektrum, som kan fortolkes som evidens for neutroner fra den elektrolytiske celle, så er måleusikkerheden på grund af baggrundsstrålingen meget stor. Det er ikke nogen hemmelighed, at gruppen, da man fik kendskab til Pons og Fleischmann's resultater, fik meget travlt med at gennemføre tilsvarende undersøgelser indenfor et område den hidtil havde betragtet som sit eget.

## Manglende bekræftelse

Med to anerkendte forskergruppe, som så ud til at bekræfte hinandens resultater, var der nu så meget hold i sagen, at ikke blot den sensationslystne presse, men også politikerne begyndte at interessere sig for den. Og selv om der fra videnskabelig side var mange reservationer overfor de fremlagte beviser, så var der dog få, som helt turde afvise, at man her kunne stå overfor noget ganske uventet af enorm betydning. Så verden over startedes et utal af eksperimenter som søgte at eftergøre resultaterne fra Utah, direkte eller med variationer. Her spillede det givet ind, at der var tale om simple eksperimenter, som ethvert nogenlunde veludstyret forskningsinstitut kunne stille op og gå i gang med indenfor få timer. I en tid, hvor de mest betydningsfulde nyopdagelser ser ud til at kræve investeringer i milliardklassen, omfattende samarbejde og store computere, var dette forfriskende, og mange erfarne forskere kastede sig med ildhu over det ny emne. De resultater der fremkom blev øjeblikkeligt kolporteret videre over de nye kommunikationsmidler telefax og bitnet og hele tiden var der skarer

af TV-reportere og journalister som kiggede med over skuldrene. Men de fleste resultater var negative. Man så ingen effekter ud over dem, som kunne tilskrives kosmisk stråling, naturlig radioaktivitet eller helt enkelt målefejl.

Der var dog også undtagelser. Blandt andet prøvede en italiensk gruppe ved det velkendte Frascati laboratorium en variant af forsøgene, idet den elektrolytiske celle var erstattet af en stålbeholder fyldt med titan-spåner, som så blev påfyldt deuteriumgas under højt tryk. Man udsatte så beholderen for forskellige termiske påvirkninger som varme og kulde. Eksempelvis blev den nedkølet med flydende nitrogen. Efter en sådan afkøling efterfulgt af langsom opvarmning til stuetemperatur iagttog man efter nogle timer en pludselig stigning i antallet af udsendte neutroner, som blev registreret i en detektor nær beholderen. Neutronemissionen varede ved i flere timer, hvorefter den langsomt ebbede ud.

### Hvordan modbevises en observation

Der var også andre steder hvorfra man, mest som rygte, hørte om positive resultater. Men stort set udeblev bekræftelserne. Meget erfarne og veludstyrede grupper havde sat ind på at se en effekt, men man så intet. Efterhånden fremkom udførlige rapporter om sådanne undersøgelser, rapporter som levede op til sædvanemæssige krav om dokumentation og grundighed<sup>5,6</sup>.

De gennemførte undersøgelser, som har haft betydeligt omfang, har gentaget de oprindelige eksperimenter med sådanne variationer som forekom rimelige: Bedre detektorer for stråling, bedre kalorimetre, omhyggelig kalibrering, reduktion af baggrundsstråling, og selvfølgelig generel agtpågivenhed overfor fejlkilder som svigtende elektronik, lækage i kabler og så videre. Resultaterne af disse undersøgelser har alle været, at de effekter som oprindeligt blev rapporteret ikke har kunnet reproducere. Hvis de i det hele taget forekommer må de i hvert fald være 10-100 gange svagere end påstået.

Det er imidlertid for denne type effekter på grænsen til det umulige at føre et eksperimentelt bevis for, at et andet eksperiment har været fejlagtigt. På trods af stor omhu kan man jo aldrig helt reproducere forsøgsbetingelserne; der kan i de oprindelige eksperimenter have optrådt specielle forhold som visse forureninger eller man kan have kørt eksperimentet gennem en anden cyklus. Men som det konkluderes i den store undersøgelse<sup>5</sup> gennemført på Harwell Laboratoriet: "Vi føler at vort arbejde har medvirket til at sætte klare grænser for ikke-observationen af kold fusion i elektrolytiske celler under meget omhyggeligt kontrollerede og velforståede betingelser og med brug af velbeskrevne materialer. Påstande om iagttagelsen af kold fusion bør nu opfylde en lignende standard for dataanalysen og materialebeskrivelsen, således at en ordentlig vurdering kan gøres." Med andre ord: Bevisbyrden ligger nu hos dem, som måtte påstå at have iagttaget kold fusion.

### Hvad har man lært?

Affæren med den kolde fusion har på mange måder været lærerig. Den har vist, at det er med god grund, at videnska-

ben har strenge regler for, hvordan en videnskabelig opdagelse publiceres: Det sker først i et videnskabeligt tidsskrift og efter omhyggelig vurdering hos kyndige fagfæller. Man har også lært, at dagens hurtige elektroniske kommunikation spiller en stor rolle for spredningen af videnskabelige nyheder, men også for spredning af rygte og halve sandheder. Man har set, hvor vanskeligt det er for videnskaben at holde sin sti ren, når offentlighedens øje hviler på den. Og man har set, at mange konflikter lurer under overfladen, selv om videnskaben som regel udtrykker sig i urbane vendinger. I denne sag har der været konflikter mellem personer, som arbejder med samme emne (hvilket selvfølgelig ikke er ukendt), men også spændinger mellem kemikere og fysikere, mellem universiteter og forskningsinstitutioner og sågar mellem forbundsstater i USA.

Men der er selvsagt også positive ting at lære. Den store, dyre fusionsforskning, som tynger statsbudgetterne, har måske følt sin position truet. Men den er kommet styrket ud ved, at der i hvert fald ikke denne gang blev anvist en genvej til fusionsenergien. Affæren har også understreget, at der stadig er meget man ikke tilfulde forstår om forholdene i faste materialer, og at man skal være på vagt, når det gælder beregningen af ekstremt eksponentielle fænomener, som den kvantemekaniske gennemtrængning af potentialbarrierer. Varm fusion er kostbar, og endnu har man ikke helt kunnet bringe en hydrogengas til den temperatur og tæthed hvor den kernefysisk antændes. Kold fusion er en ønskedrøm, men den er faktisk realiserbar som muonkatalyseret fusion, og det kan vel være, at den kuldsejlede kolde fusion giver nye impulser til den muonkatalyserede. Og endelig kan man da næppe udelukke, at der en dag kommer en ny ide til at opnå kold fusion, omend næppe på den måde, man for en kort stund troede i 1989.

### Referencer:

1. M. Fleischmann and S. Pons, *J. Electroanal. Chem.* **261**, 301(1989)
2. En udmærket artikel om muonkatalyserede fusioner er J. Rafaelski and S.E. Jones, *Scientific American* **257**, 84 (July 1987)
3. S.E. Koonin and M. Naunberg, *Nature* **339**, 690 (1989)
4. S.E. Jones *et al*, *Nature* **339**, 737 (1989)
5. N.S. Lewis *et al*, *Nature* **340**, 525 (1989)
6. D.E. Williams *et al*, *Nature* **342**, 375 (1989)



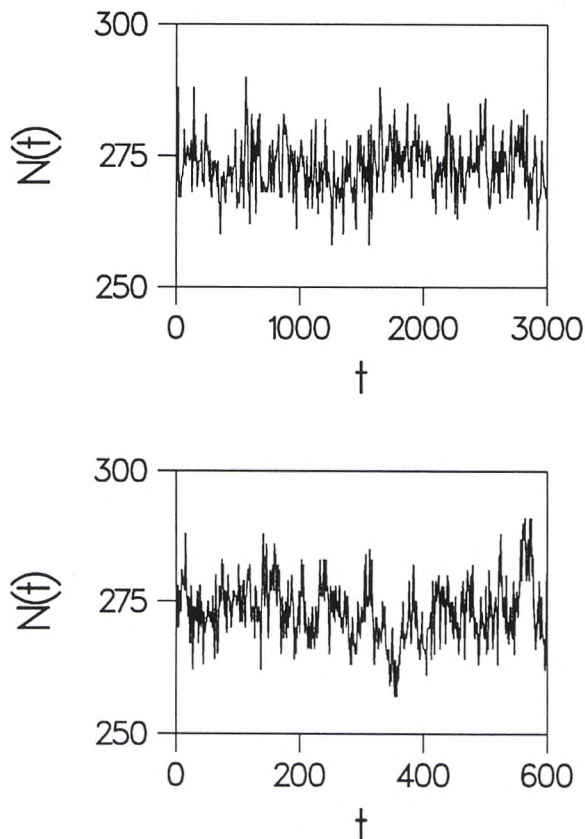
Bent Elbek dr.phil, professor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Arbejder med eksperimentel kernefysik ved instituttets Tandem Accelerator Laboratorium ved Risø. Formand for Dansk Fysisk Selskab.

# Fraktaler og $1/f$ -støj; to sider af samme dynamiske tilstand.

Henrik Jeldtoft Jensen, *NORDITA, Københavns Universitet*

Denne artikel handler om et forsøg på at udvikle en sammenfattende teori for to meget udbredte fænomener. Det ene er de rumlige strukturer, man kalder fraktaler, det andet består i tidslige signaler som udviser, hvad man betegner som  $1/f$ -spektra.

Fraktaler optræder de mest forskellige artede steder i naturen<sup>1</sup>; således er bjerge, stjerne fordelingen på himlen og spin konfigurationer i magneter alle eksempler på fraktale strukturer. De er skalainvariante, d.v.s. de ligner atter sig selv efter at være blevet forstørret et antal gange. Tænk f. eks. på et blomkålshoved eller se på figur 6.



Figur 1. Tidslig variation af det totale antal partikler på et  $32 \times 32$  gitter. Den nederste graf viser en forstørrelse af en del af tidsaksen på den øverste.

Tidslige  $1/f$ -spektra findes bl.a. i elektriske modstande, i vandstrømmen i Nilen, i motorvejstrafikken igennem storbyer og i lysudsendelsen fra stjerner<sup>2,3</sup>. I alle disse tilfælde viser det sig, at den tidslige variation af det betragtede signal ikke blot indeholder nogle få karakteristiske frekvenser. Undersøger man styrken, hvormed de enkelte perioder bidrager til signalet, finder man, at alle frekvenser bidrager, og ydermere er det således, at de lange perioder bidrager mest. Styrken af en given frekvens  $f$  er proportional med  $1/f^\beta$ , hvor  $\beta \approx 1$ . Deraf kommer navnet " $1/f$ -støj". I fig. 1 er vist et eksempel på et tidsligt signal, som har denne egenskab. Selvom tidsaksen er blevet forstørret fem gange i fig. 1b ligner signalet fortsat sig selv.

Hvordan kan det være at fraktaler og  $1/f$ -spektra dukker op så mange vidt forskellige steder? Er fraktaler og  $1/f$ -spektra forbundet og er der en fælles bagved liggende årsag til at de findes i tilsyneladende ikke beslægtede systemer? Det er præcis tilfældet i følge Bak, Tang og Wiesenfeld<sup>5</sup>. De foreslog fornylig, at dynamiske systemer bestående af mange vekselvirkende partikler eller med mange frihedsgrader af sig selv udvikler sig til en tilstand, som er karakteriseret ved en total mangel på længde og tidsskala, tilstanden er skalainvariant. (Korrelationsfunktioner og fordelingsfunktioner udviser simpel potenslovsopførsel.) Tilstanden siges at være kritisk med en hentydning til kritiske tilstande ved termodynamiske faseovergange, og de betegnedes fænomenet som selvorganiseret kritisk opførsel. Fraktaler og  $1/f$ -spektra fremkommer som henholdsvis de rumlige og tidslige karakteristika ved denne tilstand.

Vi vil nu først give en mere detaljeret beskrivelse af, hvorledes den selvorganiserede kritiske tilstand tænkes at fremkomme og dens egenskaber, derefter vil vi gennemgå en konkret numerisk model.

Tag en spand med sand og en plan flade. Begynd nu langsomt at drysse sand ned på fladen. I begyndelsen vokser sandbunken jævnt op uden at sandet skrider ned ad siden. Når hældningen af sandet når en vis værdi, begynder laviner at opstå. Vi kan forestille os, at der lokalt på bunkens side findes en bestemt kritisk hældning, ved hvilken sandet begynder at løbe. Hælder vi for meget sand på, sænkes hældningen lokalt, ved at sand løber ud. Er hældningen på et sted under den kritiske værdi, vil den kunne vokse, når der bliver hældt sand på eller ved, at sand på bunkens side transporteres til og fra området. Sandbunken driver sig selv ind i en dynamisk stationær tilstand.

Lad os nu et øjeblik holde inde med at drysse mere sand på bunkens, og forsøge at undersøge den tilstand sandbunken

## Gittergasmodellen

1. Tag et skakbræt med  $N_x$  felter i x-retningen og  $N_y$  felter i y-retningen. Lad  $n(x,y)=1$  betyde, at feltet  $(x,y)$  indeholder en partikel og  $n(x,y)=0$  betyde at feltet er tomt. Fordel nu partikler på tilfældig måde på brættets felter. Vi må aldrig placere mere end én partikel i et felt, men felter kan udemærket være tomme.

2. Partikler i nabofelter frastøder hinanden. Vi definerer kraften på en partikel i feltet  $(x_0, y_0)$  ved

$$F_x = n(x_0-1, y_0) - n(x_0+1, y_0)$$

$$F_y = n(x_0, y_0-1) - n(x_0, y_0+1)$$

Partiklen i feltet  $(x_0, y_0)$  skal flyttes til det nabofelt, som kraften  $F$  peger imod. Vi bestemmer dette felt ved at beregne

$$I = \text{nint}[F_x/|F|], \quad J = \text{nint}[F_y/|F|],$$

hvor  $\text{nint}[x]$  betegner det hele tal, som ligger nærmest ved  $x$ . Vi ønsker at flytte partiklen fra  $r_0 = (x_0, y_0)$  til  $r_1 = (x_0 + I, y_0 + J)$ , men gør det kun, hvis feltet  $r_1$  er tomt og dersom ingen andre partikler skal flyttes ind i feltet med en kraft større end den kraft, som virker på partiklen i feltet  $r_0$ . Reglen er, at dersom flere partikler ønsker at flytte ind i det samme tomme felt, flyttes den af partiklerne, som føler den største kraft og de andre partikler bliver, hvor de er. Hvis alle partikler, som ønsker at blive flyttet ind i feltet  $r_1$ , påvirkes af samme kraft, flytter vi *ingen* af disse partikler. Vi går altså igennem alle partikler på brættet, før vi begynder at flytte partiklerne.

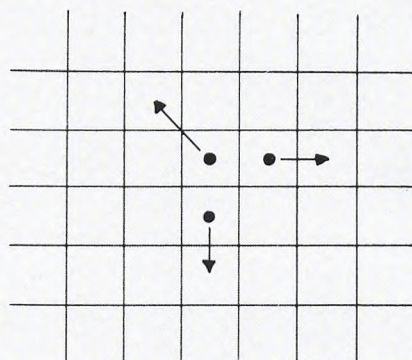
3. Specielle regler gælder for kant felterne:

$$(1, y) \text{ og } (N_x, y) \text{ hvor } y \in [1, N_y]$$

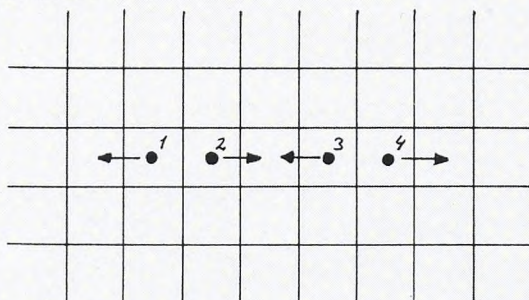
$$(x, 1) \text{ og } (x, N_y) \text{ hvor } x \in [1, N_x]$$

Vi slutter hvert tidsskridt af med at fjerne alle partikler, som befinder sig i disse felter. D.v.s. partiklerne forsvinder ud over brættets kant. Nu er alle disse felter tomme og næste tidsskridt indledes med at introducere partikler i kantfelterne med sandsynligheden  $p$  per felt (f.eks. med  $p=0,2$ ). En partikel placeret i et kantfelt påvirkes foruden ved krafterne fra evt. nabopartikler af en enhedskraft vinkelret på brættets kant i retning ind på brættet. Denne kraft skal forsøge at drive partiklen ind på brættet.

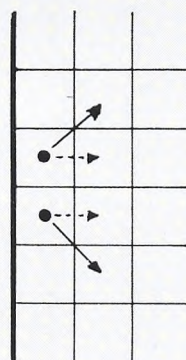
4. Modellens dynamik består i at udføre punkt 2 og punkt 3 igen og igen.



Figuren viser et eksempel på en partikelkonfiguration. Pilene angiver retningen af den resulterende kraft på de forskellige partikler. Alle tre partikler kan flyttes til de felter pilene peger imod.



I denne konfiguration kan partikel nummer 1 og 4 flyttes. Partikel nummer 2 og 3 ønsker begge at flytte ind i midterfeltet, men da de begge påvirkes af en kraft af størrelsen én, skal ingen af dem flyttes.

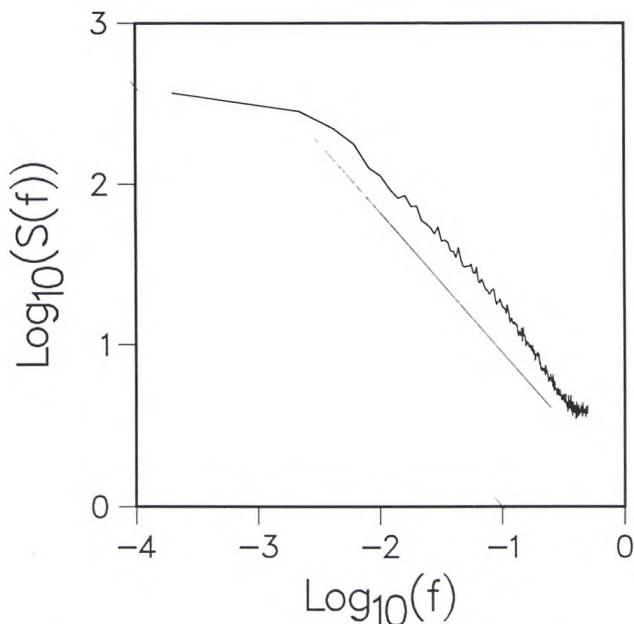


Kræfter på partikler i kantfelter. Den stiplede pil angiver den under punkt 3 omtalte kantkraft, den fuldtoptrukne pil viser den resulterende kraft.



nu befinder sig i. Til det formål kaster vi et enkelt sandskorn på bunken. Nogle gange forårsager det, at en stor lavine udløses, andre gange giver det ekstra sandskorn kun anledning til, at et par korn triller en smule ned, og atter andre gange udløser vort sandskorn slet ikke noget skred. Et skred udløses, dersom vi ved at addere et ekstra korn gør den lokale hældning større end den kritiske. Lad os kalde et sådant sted på bunkens side for minimalt stabilt. Adderer vi et sandskorn til en minimalt stabil position vil sand skride fra denne position til nabopositionerne nedenfor. Dette kan bevirke at hældningen i disse nye positioner bliver overkritisk, så sandskred udløses her. En lavine eller kædereaktion er derved sat igang, den vil forløbe, indtil vi har relakseret alle de minimalt stabile positioner, som er rumligt forbundet med det sted, hvor vi placerede det første sandskorn. Sandbunkens side består i den kritiske tilstand af et netværk af minimalt stabile positioner.

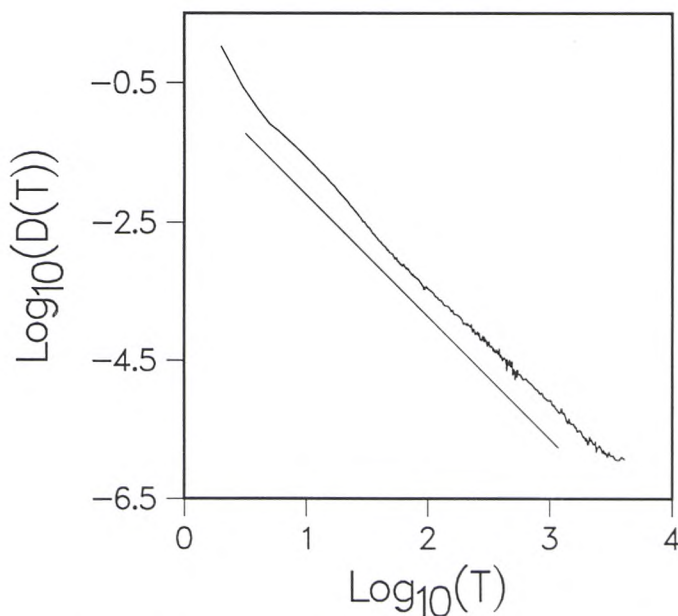
Sandbunke sproget er hensigtsmæssigt til at beskrive ideen om den selvorganiserede kritiske tilstand; men skal ikke tages for bogstaveligt. Eksperimenter<sup>6</sup> har ikke fundet  $1/f$ -støj i sandbunker. I artiklerne i Ref.5 behandlede Bak, Tang og Wiesenfeld en numerisk sandbunke model. De troede, at denne model indeholdt  $1/f$ -støj, men senere simulationer<sup>7</sup> har vist, at dette ikke er tilfældet. Hverken modellen eller rigtige sandbunker ser ud til at indeholde fraktaler. Lad os derfor nu forlade sandbunken og istedet beskrive en anden model<sup>8</sup>, som både indeholder fraktaler og  $1/f$ -spektra.



**Figur 2.** Spektraltætheden af den tidslige variation i antallet af partikler på et  $64 \times 64$  gitter. Der er midlet over 31 forskellige tidssekvenser alle bestående af 5000 tidsskridt. Den rette linje har hældningen  $-0,9$ .

Modellen består af frastødende partikler, som bevæger sig rundt på et gitter. Hvert felt på gitteret kan indeholde en eller ingen partikel. Vi tænker os at en kraftig gnidningsmodstand bevirker, at partiklerne bevæger sig overdæmpet, d.v.s. de flytter sig kun, når en resulterende kraft virker på dem. Så deres bevægelsesligning er ikke Newtons anden lov, men følgende diffusive bevægelses ligning,  $\eta \mathbf{v} = \mathbf{F}$  hvor  $\eta$  er en gnidningskoefficient,  $\mathbf{v}$  hastigheden af den betragtede partikel og  $\mathbf{F}$  den resulterende kraft på partiklen. I hvert tidsskridt opdaterer vi hele gitteret på engang. Vi beregner den resulterende kraft på en partikel forårsaget af vekselvirkningen med eventuelle nabopartikler. Vi undersøger om det nabofelt, som den resulterende kraft peger imod er tomt, er det tilfældet flytter vi den betragtede partikel til dette felt, i modsat fald lader vi blot partiklen blive, hvor den er. Partiklerne kan forlade systemet over dets fire kanter, endvidere introduceres partikler på kantfelterne med en konstant sandsynlighed i hvert tidsskridt<sup>9</sup>.

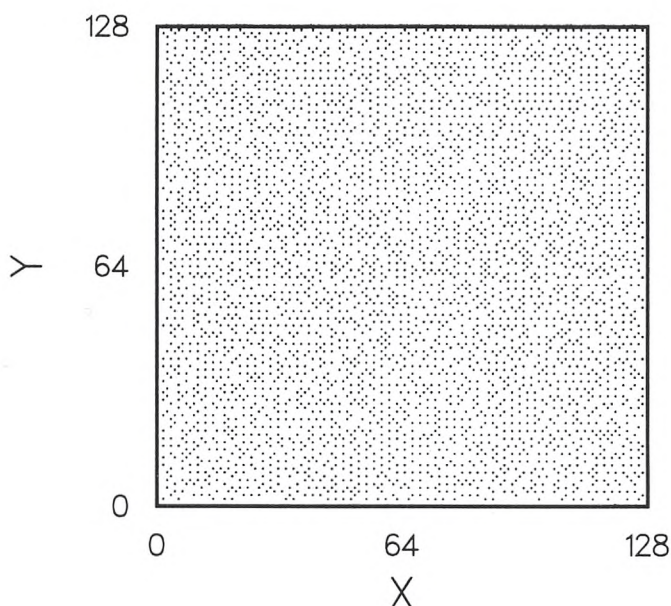
Nu lader vi blot systemet udvikle sig i tiden. Uanset hvilken begyndelseskonfiguration vi starter fra, vil modellen selv bevæge sig ind i en stationær tilstand, som er karakteriseret ved at antallet af partikler på gitteret som funktion af tiden,  $N(t)$ , har et  $1/f$ -spektrum. I fig. 1 er vist et eksempel på, hvorledes  $N(t)$  kan se ud, når systemet udvikler sig i den stationære tilstand. Styrken af frekvenserne er vist på figur 2 og denne spektraltæthed,  $S(f)$ , er proportional med  $1/f^{0,9}$ .



**Figur 3.** Fordelingen af levetider for samme system som i Fig. 2. Den rette linje har hældningen  $-1,8$ .

En given partikel bidrager til  $N(t)$  i tidsrummet fra partiklen bliver anbragt på gitterets kant til den forlader gitteret igen. Vi kan kalde dette tidsrum,  $T$ , for partiklens levetid, og vi kan numerisk måle, hvorledes fordelingen af levetider,  $D(T)$ , ser ud. I figur 3 er vist levetidsfordelingen for systemet fra figur 2. Over et bredt tidsinterval finder vi at  $D(T) \sim 1/T^{1.8}$ . Den stationære tilstand har således fordelingsfunktioner som udviser potenslovsopførsel.

Der findes en sammenhæng imellem fordelingen af levetider og spektraltætheden<sup>7</sup>. Hvis  $N(t)$  er en lineær sum af ukorrelerede enkelt signaler med forskellige levetider  $T$ , som er fordelt efter  $D(T) \sim 1/T^\alpha$ , da vil  $S(f) \sim 1/f^\beta$ , hvor  $\beta = 3 - \alpha$  for  $\alpha > 1$  og  $\beta = 2$  for  $\alpha < 1$ . Korrelationer imellem de enkelte signaler kan ødelægge denne sammenhæng. Inden for den numeriske målenøjagtighed ser det ud til, at relationen er opfyldt for spektraltætheden og den tilhørende levetidsfordeling vist i h.h.v. figur 2 og figur 3.

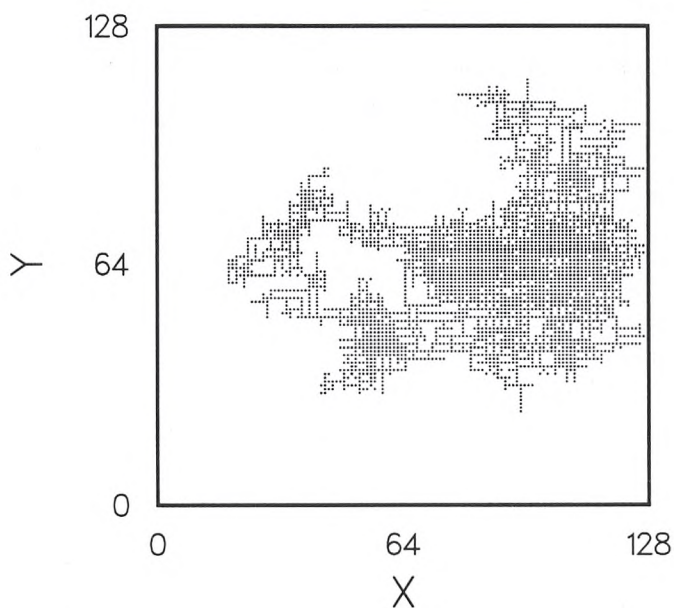


**Figur 4.** Partikel konfiguration da partiklerne er kommet til ro efter at vi er holdt op ned at bringe nye partikler ind på gitteret.

Den tidlige opførsel af modellen udgør et eksempel på at Bak, Tang og Wiesenfeld's vej til  $1/f$ -spektra kan forekomme. Vi vender os nu til de rumlige aspekter af modellen.

Betragt systemet i den stationære kritiske tilstand. Holder vi nu op med at introducere nye partikler på gitterets kant, går bevægelsen i stå i løbet af nogle tidsskridt. I figur 4 er vist en resulterende konfiguration efter, at partiklerne er kommet til ro. I denne model er der kun vekselvirkning mellem nærmeste-nabo-partikler på et kvadratisk gitter. Vi kan nu på følgende måde undersøge, hvorledes partiklerne i denne tilstand er korrelerede. Vi anbringer en ekstra

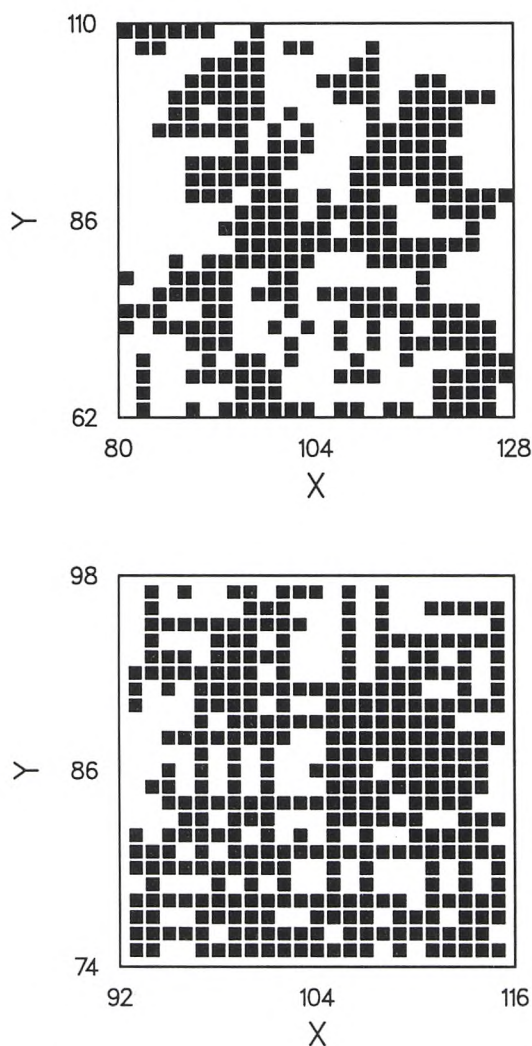
partikel i et eller andet tomt felt, denne nye partikel vil skubbe til partikler på nabofelterne og bevægelse vil blive sat igang. Nu følger vi systemet til det atter falder til ro. I figur 5 er vist alle de felter, hvorpå bevægelse blev induceret da vi anbragte en ny partikel i gitterets center. Alle disse felter er således dynamisk korrelerede med det felt, hvor vi anbragte den første partikel. Der findes sammenhængende områder, som formodentlig skyldes at vi har en mindste længdeskala givet ved størrelsen af de enkelte felter på gitteret, men ellers ligner den rumlige struktur, som er fremkommet i figur 5, en fraktal. I figur 6 har vi fokuseret på en del af figuren, området i den øverste figur er blevet forstørret med en faktor to i den nederste figur. Kvalitativt ligner de to figurer hinanden, altså er klyngen af punkter i figur 3 til en vis grad skalainvariant. Massedimensionen opnået ved den såkaldte boks-tælling er omkring 1.7.



**Figur 5.** Klynge bestående af dynamisk korrelerede gitterfelter i Figur 4. Se i øvrigt teksten.

Den ovenfor beskrevne model viser, at  $1/f$ -spektra og fraktale strukturer kan opstå som produkter af en dynamisk kritisk tilstand. Gittergas modellen er således et konkret eksempel på Bak, Tang og Wiesenfeld's ide om, at selvorganiseret kritisk opførsel ligger til grund for observerede  $1/f$ -spektra og fraktaler. Modellen er forøvrigt mig bekendt den eneste, som *både* indeholder fraktaler og  $1/f$ -spektra.

Der er naturligvis et langt skridt fra en simpel numerisk model, som er diskret både i rum og tid, til de komplicerede systemer, hvor man i naturen møder fraktaler og  $1/f$ -spektra. Der er mange spørgsmål at besvare, før vi ved om korreleret mange partikel opførsel altid er årsagen bag  $1/f$ -spektra og fraktaler. Hvilken betydning har den diskrete natur af de

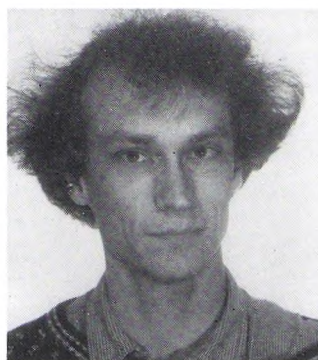


Figur 6. En del af klyngen i Figur 4 set under forskellig forstørrelse.

numeriske modeller? Hvad er det, som bestemmer om et givet system vil have en selvorganiseret kritisk tilstand eller ej? Hvorledes kommer man videre fra de numeriske eksperimenter til en egentlig teori for fænomenet selvorganiseret kritisk opførsel? Alle disse spørgsmål bliver studeret for tiden. Modeller inspireret af turbulens, kosmologi, jord-skælv, biologi, økonomi med videre er blevet præsenteret<sup>10</sup>. Bak, Tang og Wiesenfeld's ambitiøse og tiltrækkende ide om selvorganiseret kritisk opførsel er endnu for ny til, at vi kan afgøre, hvilke fysiske systemer begrebet kan anvendes på.

#### Referencer:

1. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature* (Freeman, San Fransisco, 1982).
2. W. H. Press, *Commun. Mod. Phys. C* **7**, 103 (1978).
3. M. B. Weissman, *Rev. Mod. Phys.* **60**, 537 (1988).
4. D. K. C. MacDonal, *Noise and Fluctuations: An Introduction* (Wiley, New York, 1962).
5. P. Bak, C. Tang, and K. Wiesenfeld, *Phys. Rev. Lett.* **59**, 381,(1987) and *Phys. Rev. A* **38**, 364 (1989).
6. H. M. Jaeger, Chu-heng Liu, and Sidney R. Nagel, *Phys. Rev. Lett.* **62**, 40 (1989).
7. H. J. Jensen, K. Christensen and H. C. Fogedby, *Phys. Rev. B* **40**, 7425 (1989).
8. H. J. Jensen, Preprint.
9. I det tidsskridt en partikel er introduceret på et kant felt, lader vi en enheds kraft virke på partiklen for at forsøge at skubbe partiklen ind på gitteret.
10. Mig bekendt er det kun den her beskrevne model, som vides at udvise både  $1/f$ -spektra og fraktaler; de fleste undersøgelser har beskæftiget sig med at vise at model- lernes fordelingsfunktioner har potenslovs form.



Henrik Jeldtoft Jensen er licentiat i teoretisk fysik fra Århus Universitet, 1986. Her arbejdede han primært med magnetiske systemer. I forbindelse med et toårigt ophold ved McMaster University i Canada studerede han computersimulering af flux linie dynamik i type II superledere. Denne interesse har han bibeholdt i sin nuværende ansættelse som stipendiat ved NORDITA.

# Fiberlasere.

Christian Larsen, Lycom A/S.

## Indledning

I 1973 blev det hos Bell Laboratories vist<sup>1</sup>, at man ved at tilsætte kernen af en optisk fiber små mængder af en sjælden jordarts metal, neodymium, kunne fremstille en fiberlaser, d.v.s. et stykke optisk fiber, der i sig selv udgør en laser. Resultatet med neodymium fra 1973 var bemærkelsesværdigt, men viste sig dog at have begrænset kommerciel interesse. De bølglængder, hvor det var muligt at opnå en laservirkning, ligger nemlig ikke i umiddelbar nærhed af de bølglængder, der er interessante (d.v.s. har lave tab) for fiber kommunikation.

Indenfor de sidste år er interessen for fiberlasere imidlertid vokset stærkt, idet det har vist sig muligt at fremstille fibre doteret med en anden sjælden jordart, erbium, der laser omkring 1535 nm, tæt på den bølglængde, som anvendes i kommunikationssystemer nemlig 1550 nm.

Udviklingen inden for fremstilling af sædvanlige optiske fibre til kommunikation har ført til, at man i dag kan fremstille fibre baseret på silica-glas med dæmpninger, der er tæt på det teoretisk bedst mulige. For disse fibre findes den mindste dæmpning (0,2 dB/km) omkring 1550 nm, hvorfor denne bølglængde er anvendt til kommunikation.

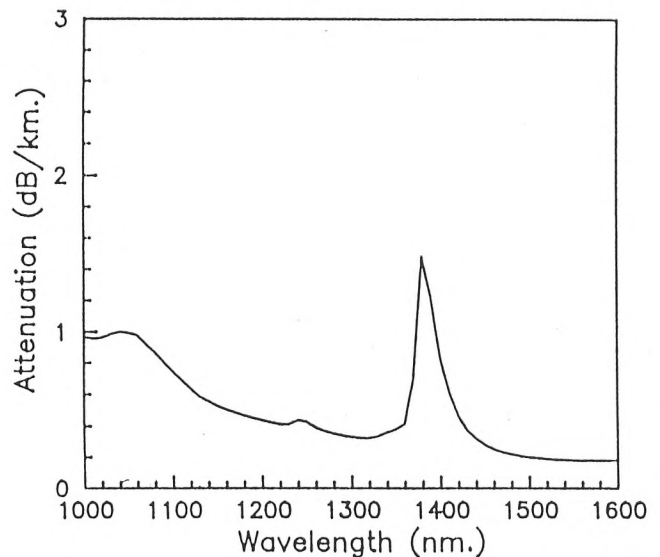
Dæmpningen,  $a$ , i en fiber måles sædvanligvis i dB/km:

$$a = 10 \log ( I_i / I_o ) / L,$$

hvor  $I_i$  er lys ind i fiberen,  $I_o$  er lys ud af fiberen og  $L$  er længden af fiberen. Det ses at et tab på 30 dB svarer til at lysets intensitet er blevet reduceret med en faktor 1000.

En typisk dæmpningskurve for en fiber er vist i figur 1. Det ses at dæmpningen vokser mod lavere bølglængder, dette skyldes Rayleigh spredning. For bølglængder større end ca. 1550 nm vil dæmpningen også stige, som følge af lysets vekselvirkning med gitter-svingninger i fiberen, de såkaldte fononer. Absorptionen ved 1385 nm og 1250 nm skyldes eksitationer af Si-OH bindinger. Brint optræder som en forurening i glas-set og giver altså forøgede tab i fiberen.

Transmission over afstande op til 150 km er mulig uden at lyset dæmpes mere end at det digitale signal stadig kan detekteres. Dette mål afhænger naturligvis af flere ting. Udover dæmpning i fiberen, afhænger det af den effekt det er muligt at overføre til fiberen fra

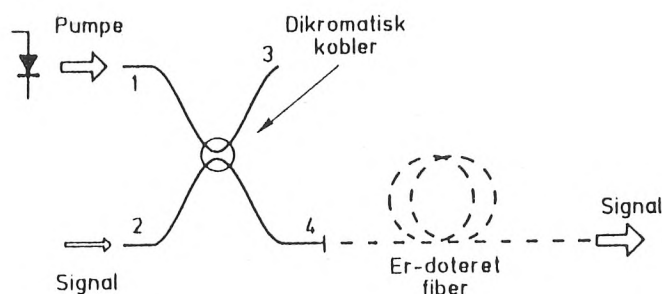


Figur 1 Spektral dæmpningskurve.

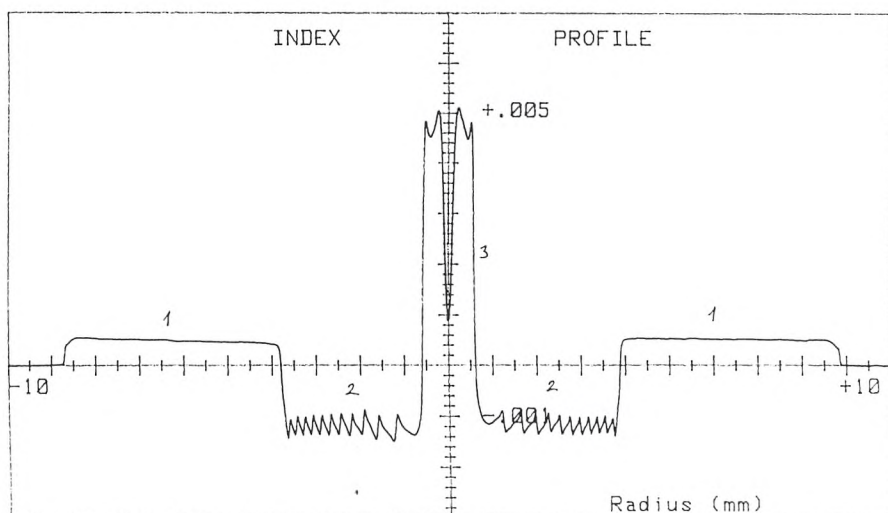
signal laseren, og det afhænger af, hvor god ens detektor er.

Et praktisk eksempel på et 150 km optisk fiber kabel, er det kabel der forbinder Stevns med Bornholm. Det er altså muligt at detektere signalet selvom det er dæmpet 30 dB (150 km fiber med 0,2 dB/km).

Ønsker man at sende over større afstande må signalet forstærkes undervejs. Dette forgår i dag elektronisk ved at signalet detekteres, det regenereres og forstærkes elektrisk og sendes videre ved hjælp af en ny signal laser. Dette er en kompliceret og dyr proces. Optisk forstærkning, hvor



Figur 2 Princip for fiberoptisk forstærker.



Figur 3 Brydningsindex igennem en single mode fiber.

signalet bevares som lys, er teknisk langt mindre kompliceret.

Princippet bag den optiske forstærker er skitseret på figur 2. En aktiv fiber ca. 10-100 m doreret med erbium, pumpes ved, at lys fra pumpelaseren sammen med signalet sendes gennem en fiberkobler ind i den aktive fiber. Der er ingen spejle i opstillingen til at give feed back til den aktive fiber, den kan derfor ikke lase. Men idet der passerer en optisk puls gennem den aktive fiber vil pulsen selv give anledning til stimuleret emission og pulsen forstærkes. Rekordforsøg har vist at det er muligt at opnå 47 dB forstærkning - mere end de 30 dB der tabes i det ovenfor omtalte Bornholmskabel.

I 1987 indledte Lycom, der fremstiller optiske fibre, og Jydsk Telefon et samarbejde<sup>2</sup> om at udvikle en fiberforstærker. Dette samarbejde er i dag udvidet så også NKT, der fremstiller optiske kabler og kommunikationsudstyr, DTH og Statens Teletjeneste deltager i dette projekt med økonomisk tilskud fra "Det Materiale teknologiske Udviklingsfond".

### Fremstilling af fibre.

Brydningsindex målt på tværs gennem en standard optisk fiber er vist på figur 3. Fiberen består af tre dele: et substratrør (1 på figur 3), en deponeret kappe (2) og inderst en kerne (3). For at lede lyset har kernen i en optisk fiber et højere brydningsindex end den omgivende kappe. Forskellen mellem brydningsindex i kerne og kappe er 0,3 %.

Glasset, lyslederen består af, er primært SiO<sub>2</sub>, og for at hæve eller sænke brydningsindex tilsættes små mængder af henholdsvis Ge eller F.

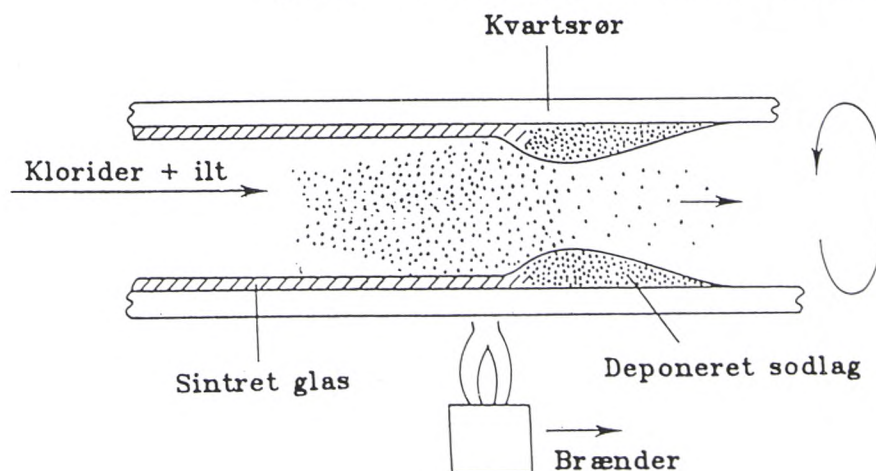
Den metode, som Lycom anvender til fremstilling af den massive glasstang, der er grundlaget for den optiske fiber (præformen), er MCVD-processen, Modified Chemical Vapor Deposition.

Udgangspunktet er et kvartsrør med en diameter på nogle få centimeter. På indersiden af dette deponeres lag på lag af glas, hvis sammensætning og dermed brydningsindex kan kontrolleres præcist. Røret opvarmes af en brintbrænder, der bevæges langs røret, idet røret roterer. Igennem røret sendes en blanding af siliciumtetraklorid og ilt, der ved opvarmning reagerer og danner siliciumoxid og klor:



Partikler af siliciumklorid afsættes på indersiden af kvartsrøret og danner et fint sodlag, som sintres til klart glas idet brænderen passerer og opvarmer røret til en temperatur omkring 1900-2000 °C (se figur 4).

Siliciumtetraklorid er ved stuetemperatur en væske, og dampe heraf ledes gennem røret ved at lade ilt boble gennem væsken. Ilt fungerer altså også som en bæregas for



Figur 4 MCVD processen.

siliciumtetraklorid. Udover  $\text{SiCl}_4$  tilsættes små mængder af  $\text{POCl}_3$ ,  $\text{GeCl}_4$  eller fluor, hvorved brydningsindexet i lyslederen kan ændres.

Efter deponeringen varmes røret kraftigt op og glassets overfladespænding vil få røret til at trække sig sammen til en massive glasstang. Selve fiberen trækkes af præformen ved opvarmning af denne til ca. 2000 °C. Standard fibre har en yderdiameter på 125  $\mu\text{m}$  og er belagt med en acrylcoating, der har en yderdiameter på 250  $\mu\text{m}$ .

### Fremstilling af dotede fibre.

For at fremstille fibre med sjældne jordarter ville det være naturligt at inkludere de sjældne jordarters klorider i MCVD-processen. Dette lader sig desværre ikke gøre, da disse klorider har et smeltepunkt omkring 7-800 °C.

Den metode Lycom anvender til fremstilling af fiberlasere kaldes SODOF, SOLution-DOped-Fibers, og kan beskrives i følgende trin, som MCVD-processen udvides med:

- Efter deponering af kappe deponeres kernen. Dette gøres ved lav temperatur 1600-1700 °C, hvorved der deponeres et sodlag af usintret siliciumoxid.
- Præformen fjernes fra drejebænken og anbringes i en vandig opløsning af sjælden jordarts klorider. Ved at variere opløsningens sammensætning og evt. også tilføje  $\text{AlCl}_3$  eller andre klorider kan fiberens sammensætning kontrolleres.
- Efter at sodlaget er blevet gennemvædet anbringes præformen igen i drejebænken. Tørringen sker ved at den varmes op og der ledes klor og ilt gennem røret. Herefter sintres sodlaget og den sædvanlige procedure med sammenklapning af røret fortsættes.

Lycom fremstiller fibre, hvor kernen er doteret med sjældne jordarter i koncentrationer fra 50 ppm-1,5 %.

### Fiberegenskaber.

Som omtalt er  $\text{Er}^{3+}$  den mest interessante ion i forbindelse med den optiske fiberforstærker. Energieniveauerne for Er er vist i figur 5. Elektronerne i den ufyldte 4f-skal i de sjældne jordarter giver anledning til disse overgange. De enkelte niveauer er multipletter, og de elektriske felter fra de omgivende ioner giver anledning til en Stark opsplitning af hver enkelt multiplet. Da glas er et amorft stof vil omgivelserne til de enkelte ioner være forskellige fra ion til ion, og opsplitningen er derfor ikke den samme for alle ioner. Linierne i absorptionsspektret for Er i glas bliver brede uden skarpe toppe. Dette er i modsætning til

tilsvarende absorptioner i YAG-lasere, hvor de sjældne jordarter er placeret i et regelmæssigt krystallinsk gitter, der giver anledning til den samme Stark opsplitning for alle ioner.

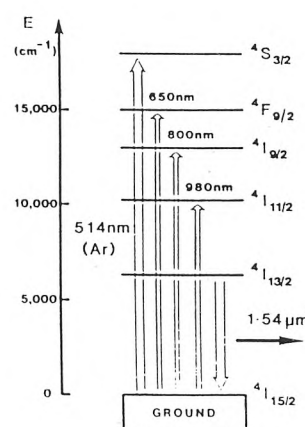
Er-lasere er som angivet i niveaudiagrammet en tre-niveau laser.  $\text{Er}^{3+}$ -ionen pumpes gennem f.eks. én af overgangene 650 nm, 800 nm eller 980 nm op til niveauet  $4I_{13/2}$ , der har en relativ lang levetid, 10 ms. Eventuelt pumpes direkte op til den øvre laser-multiplet ved at pumpe med 1480 nm.

Umiddelbart har pumpebølglængden, 800 nm, været tiltrækkende at bruge da der til denne bølglængde kan fås billige laserdioder. Uheldigvis er pumpeeffektiviteten ringe på grund af "excited state absorption". Elektroner i det øvre laser-niveau er i stand til at absorbere 800 nm lys og denne energi vil gå til spilde i form af fononer.

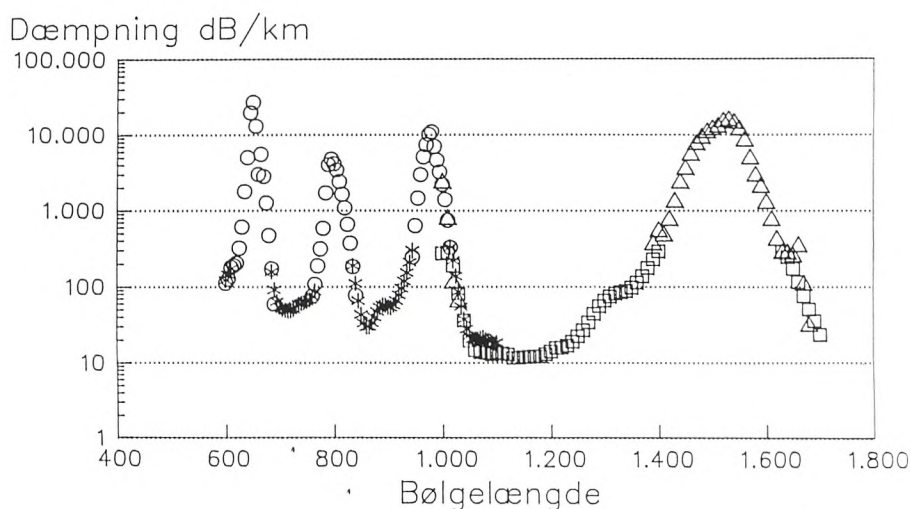
Ved 650 nm og lavere bølglængder er det ikke muligt at få halvlederlasere med tilstrækkelig effekt (>10 mW). Der er derfor kun to muligheder tilbage som pumpe for fiberforstærkeren, nemlig 980 nm og 1480 nm. For begge pumpebølglængder er der opnået anseelig forstærkning, ca. 40 dB for pumpeeffekter omkring 20-50 mW. Lavest pumpeeffekt er nødvendig ved 980 nm.

### Fremstilling af fiberforstærkere.

Det er for nylig blevet vist at det er muligt at have optisk transmission over 2200 km med brug af optiske fiberforstærkere<sup>3</sup>. Til dette forsøg blev der anvendt 26 fiberforstærkere og kommunikationsfibre var af en type med meget lav dispersion, der kunne give anledning til pulsfor-



Figur 5 Energieniveauer i  $\text{Er}^{3+}$ .



**Figur 6** Spektral dæmpningskurve målt for Er-doteret fiber. P.g.a. de store variationer i dæmpning, må der måles på varierende længder af fiber, fra 100 meter ned til få centimeter.

bredning, ved 1550 nm.

Fiberforstærkeren er dog endnu ikke en komponent der kan købes. Men der er i England og i Japan fremstillet prototyper af den, og det vil ikke vare længe før den er fuldt færdig udviklet og levetidstestet.

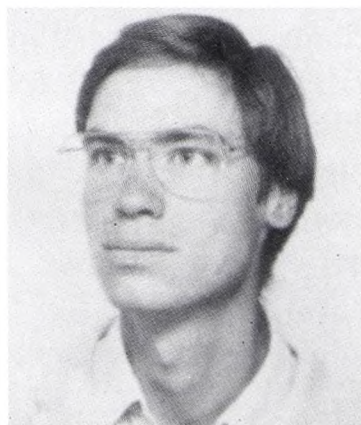
Anvendelsen af fiberforstærkeren vil komme om 1-2 år, når den er fuldt udviklet. Og med tiden bliver det endnu mere fordelagtigt at udnytte den, fordi bit-hastigheden i transmissions systemerne hele tiden stiger, og her kan den optiske forstærkning følge med til en billigere pris end den elektroniske forstærkning.

Det skal nævnes at der findes en konkurrerende teknologi til fiberforstærkeren, nemlig den halvleder baserede optiske forstærker. Princippet er det samme som ved fiberforstærkeren, blot er den aktive fiber skiftet ud med en halvlederlaser. I øjeblikket ser det ud til at fiberforstærkeren er den mest fordelagtige, den kan direkte splejse sammen med kommunikationsfibren og har derfor ingen tab ved ud- og indkobling af signalet. Halvlederlaseren har problemer med kobling til fibrene, desuden er bølgelederen rektangulær i en halvleder, dette betyder, at de to polarisationsretninger af lyset ikke vil opnå den samme forstærkning.

I det ovenfor omtalte samarbejdsprojekt mellem Lycom, Jydsk Telefon, NKT og DTH, er det målet at fremstille en fiberforstærker. Der er allerede blevet demonstreret<sup>4</sup> forstærkning helt op til ca. 30 dB, og det er håbet, at vi inden længe vil kunne deltage med en første version af en optisk forstærker i et højhastigheds transmissions forsøg.

*Referencer:*

1. J. Stone and C.A.Burrus, Appl. Phys. Lett. **23**, 388 (1973).
2. Christian Larsen og Kristen Dybdal, DOPS-NYT **1**, 9 (1989).
3. S. Saioto et al.: An over 2200 km coherent transmission experiment at 2.5 Gbit/s using erbium-doped-fiber amplifiers; OFC '90, PD2-1 (1990).
4. Kristen Dybdal, Jydsk Telefon har udført disse forsøg.



*Christian Larsen er Ph.D. i faststoffysik fra Risø/H.C.Ørsted Institutet, 1987. Hos Lycom arbejder han hovedsageligst med dotering af optiske fibre til brug i f.eks. fiberforstærkere.*

# Ny volt, ny ohm, ny temperaturskala

Finn Berg Rasmussen, H.C.Ørsted Institutet

Siden nytårsdag har nye "praktiske" vedtægter for størrelsen af en volt og af en ohm været i kraft. Den internationale temperaturskala er ændret fra samme dato.

De praktiske virkninger kan illustreres ved følgende: Et præcisionsvoltmeter kalibreret i USA før 1. januar 1990, vil vise en værdi for spændingen, der nu er ca. 9 milliontedele for stor. En standardmodstands angivne værdi vil nu være ca. 1,7 milliontedele for stor. For temperaturmålinger er justeringen mere kompliceret. En temperatur, der sidste år blev målt til 100,000 °C, skal nu angives til 99,974 °C, altså 0,026 °C = 26 mK lavere, mens temperaturer i området omkring 800 °C skal forøges med ca. 0,35 °C. Ved lave temperaturer, fra skalaens begyndelse ved ca. 0,6 K og op til 0 °C, er den største korrektion 14 mK.

Det skal understreges, at der ikke er sket nogen ændring af SI-systemet eller af dets fundamentale enheder. Tværtimod tjener revisionen til at bringe fremtidige målinger i bedre overensstemmelse med SI-systemet, end man kan opnå med de hidtidige måleforskrifter.

Det følgende er en kort forklaring af baggrunden for de nye vedtægter. Først gennemgås de nye elektriske enheders relation til SI-systemet, derefter deres praktiske realisering, og endelig omtales opbygningen af den nye praktiske temperaturskala. En langt mere indgående behandling af fysikken bag målingerne gives af H. Højgaard Jensen i en artikel i *Fysisk Tidsskrift*<sup>1</sup>. For detaljerede praktiske anvisninger må der henvises til egentlige fagartikler, fortrinsvis i tidsskriftet *Metrologia*.

## SI-systemet

SI (Système International) er et nøje afstemt system af fysiske størrelser og enheder. Kernen i systemet er fire grundstørrelser, længde, masse, tid og strømstyrke. Enhederne for disse størrelser, meter, kilogram, sekund og ampere (med de kendte forkortelser m, kg, s og A) er grundenheder i systemet. Meningen hermed er, at enhver fysisk størrelse, der kan udtrykkes ved de fire grundstørrelser, skal måles i enheder, som kan afledes af de fire grundenheder.

Enheden for masse er den eneste grundenhed, der (endnu) er defineret ved hjælp af en bestemt genstand, normalkilogrammet, som man derfor er henvist til at behandle med yderste omhu.

De øvrige grundenheder er defineret ved naturfænomener og er derfor principielt tilgængelige overalt. Sekundet defineres gennem frekvensen forbundet med en kvanteovergang mellem to niveauer i <sup>133</sup>Cs-atomet og meteren ved den strækning, som lyset tilbagelægger i vakuum i en vis brøkdel af et sekund.

Ud fra disse mekaniske grundenheder afledes enheden for kraft gennem Newtons 2. lov (Newton = N = kg·m·s<sup>-2</sup>). Energienheden fås fra definitionen af arbejde (Joule = J =

N·m = kg·m<sup>2</sup>·s<sup>-2</sup>), og enheden for effekt fra definitionen af arbejdshastighed (Watt = W = J/s = kg·m<sup>2</sup>·s<sup>-3</sup>).

Enheden for elektrisk strømstyrke (ampere = A) er i SI-systemet en grundenhed, der defineres ud fra kraften mellem to parallelle ledninger i en bestemt afstand, der gennemløbes af den samme strøm. Realiseringen af en ampere kræver således måling af kraft og af længder i overensstemmelse med disse enheders definitioner. De øvrige elektriske enheder afstemmes hertil. Enheden for spænding (Volt = V) kommer man til ved at dividere enheden for effekt med enheden for strøm ( $V = W/A = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-1}$ ). Endelig findes modstandsenheden (Ohm =  $\Omega$ ) ud fra en Volt ( $\Omega = V/A = \text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-3}\cdot\text{A}^{-2}$ ).

## Praktiske enheder

Som man ser, går det hurtigt med at fortælle, hvordan f.eks. en Ohm er defineret ud fra grundenhederne. Men at realisere en Ohm helt fra grunden, med en nøjagtighed på højde med dagens måleteknik, er en lang og krævende opgave, der betyder års arbejde. Standardlaboratorierne vælger derfor, som resultat af sådanne målerækker, at etablere praktiske repræsentationer for de vigtigste enheder.

De praktiske repræsentanter ("normaler") danner grundlag for de mere rutineprægede instrumentkalibreringer, hvorved størrelsen af f. eks. en volt kommunikeres ud i samfundet. For målinger i praksis, både i forskning og i mere praktiske anvendelser, er det vigtigere, at størrelsen af en given måleenhed er konstant, end at den er pinligt korrekt i SI-systemets forstand. Der går derfor lang tid mellem ændringer i normalernes angivne størrelse, også selv om man efter nogen tid opdager, at værdien afviger noget fra den korrekte. Og ændringer foretages kun, når der foreligger en god ny grundmåling, og når der er mulighed for en betydelig måleteknisk forbedring.

Valget af praktiske normaler for de afledte enheder afhænger således af de foreliggende tekniske muligheder på det givne tidspunkt. En ohm har hidtil været opretholdt ved sæt af trådviklede modstande, og volten var indtil for nogle år siden repræsenteret ved et sæt af specielle galvaniske elementer, hvis spænding havde vist sig at være særligt stabil.

Der er indlysende vanskeligheder ved denne metode. Ved at opbevare et helt sæt af normaler kan man ganske vist opdage, hvis en enkelt normal bliver "syg" og driver væk fra de øvrige, men virkningen af en almindeligt udbredt ældning kan ikke uden videre ses. Desuden har der ofte vist sig at være forskelle fra land til land i den værdi, som man ville tillægge en og samme normal. Hvad specielt volt og ohm angår, har det længe været klart, at vanskelighederne kunne omgås ved at benytte sig af Josephson-effekten og af kvante-Hall-effekten.



### Volt og ohm defineret ved kvanteeffekter

Den nye voltstandard, som udnytter *vekselstrøms-Josephson-effekten*<sup>2</sup>, består af to superledende elektroder, som holdes adskilt af et tyndt isolerende lag. Når laget er tyndt, er der mulighed for, at elektroner kan passere fra den ene elektrode til den anden ved kvantemekanisk tunnel-effekt gennem isolatoren. Når elektroderne er superledende, og lagtykkelsen nede på ca. 1 nm, er strømmen mellem elektroderne domineret af elektroner, der kommer i par, de såkaldte Cooper-par, som er et væsentligt element i dannelsen af den superledende tilstand. Hvis en sådan Josephson-kontakt bestråles med mikrobølger, så giver en måling af spændingsforskellen mellem elektroderne som funktion af strømstyrken en trappeformet kurve. Trappetrinene er lige høje, og spændingsforskellen  $U_n$  på det  $n$ 'te trin kan skrives som  $U_n = n\hbar f/K_J$ , hvor  $f$  er mikrobølgernes frekvens, og  $K_J$  er en universel konstant, Josephson-konstanten.

Ifølge teorien for fænomenet er Josephson-konstanten givet ved elektronens ladning  $e$  og Plancks konstant  $h$  ved ligningen  $K_J = 2e/h$ . Man kan tænke på denne relation som et resultat af Bohrs frekvensbetingelse for et par af elektroner, der ved at passere fra den ene elektrode til den anden foretager et kvantespring gennem energiforskellen  $\Delta E = 2e\cdot U = \hbar f$ . Der eksisterer en eksperimentel sammenligning mellem to Josephson-kontakter fremstillet af forskellige superledere, hvor  $K_J$  for de to viste sig at være ens indenfor en relativ usikkerhed på  $2 \times 10^{-16}$ .

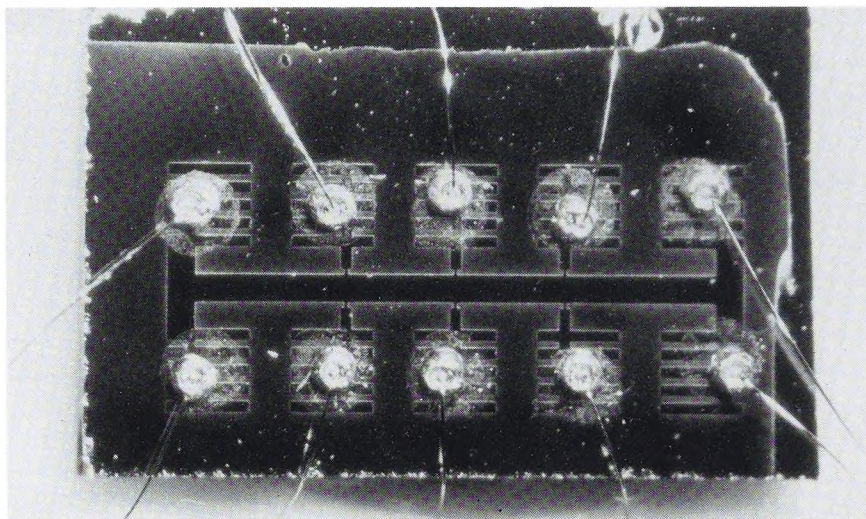
Den nye volt, gældende fra 1. januar 1990, er fremkommet ved en international vedtægt (gennem CIPM, Comité International des Poids et Mesures) af værdien  $K_{J-90} = 483\,597,9$  GHz/V (eksakt) for Josephson-konstanten. Der regnes med, at en volt målt i overensstemmelse med vedtægten højst afviger 0,4 milliontedele fra den SI-definie-

rede volt. Konsekvensen af denne vedtagelse er en korrektion af de eksisterende, forskellige, nationale voltstandarder. Korrektionen er størst for den amerikanske standard, hvor den som nævnt andrager 9 milliontedele.

*Hall-effekten* kan iagttages i en leder, der er underkastet et ydre magnetfelt vinkelret på en elektrisk strøm gennem lederen. Her vil opstå en spændingsforskel  $U_H$  på tværs af strømmen  $I$  og vinkelret på magnetfeltet. Størrelsen  $R_H = U_H/I$  har dimension af en modstand og kaldes Hall-modstanden. Ved hjælp af halvlederteknologi kan man fremstille plane strukturer, hvor de elektroner, der leder strømmen, opfører sig som en to-dimensional gas. K. von Klitzing opdagede i 1980, at når man måler  $R_H$  som funktion af magnetfeltet, så viser den en tendens til at stabilisere sig på bestemte niveauer, hvis højde er givet ved  $R_H(n) = R_K/n$ .  $R_K$  betyder her en konstant (der nu kaldes von Klitzing-konstanten), og  $n$  er et helt tal. Denne kvante-Hall-effekt bliver kun tydelig i meget stærke magnetfelter (5-15 Tesla) og ved temperaturer under 1 Kelvin. Den stiller også høje krav om materialekvalitet. Men det har vist sig, at  $R_K$  kan reproducere indenfor en relativ usikkerhed på ca.  $3 \times 10^{-9}$ .

For at forstå kvante-Hall-effekten skal man tage i betragtning, at elektronernes baner i et kraftigt magnetfelt er lukkede kurver. Kvantisering af bevægelsen i disse lukkede baner fører til en teoretisk værdi for von Klitzing-konstanten på  $R_K = h/e^2$ .

I lyset af, at  $R_K$  er en universel konstant, og af dens eksperimentelle reproducerbarhed har CIPM besluttet, at en ohm fra og med 1. januar 1990 kan realiseres ved hjælp af kvante-Hall-effekten og med benyttelse af værdien  $R_{K-90} = 25\,812,807$   $\Omega$  (eksakt). En ohm etableret på denne måde ventes at stemme overens med en SI-ohm indenfor 0,2 milliontedele.



**Figur 1.** Chip til måling af kvante-Hall effekten<sup>3</sup>. Den elektriske strøm går langs den 4 mm lange, sorte streng, som er opbygget på en isolerende grundplade. Strengens understre lag består af GaAs. Ovenpå ligger et lag af  $\text{Ga}_{0,72}\text{Al}_{0,22}\text{As}$ , hvis overside er let doperet som n-type materiale. Ledningselektronerne i systemet samler sig ved grænsefladen mellem de to lag, hvor de danner en todimensional gas. Hall-spændingen  $V_H$  måles på tværs af strømmen mellem de to midterste elektroder. Når  $V_H$  måles som funktion af et magnetfelt vinkelret på papirets plan (ved konstant strøm  $I$ ), ser man kvantiserede trin. Forholdet  $V_H/I$  på et sådant trin definerer den nye internationale, praktiske ohm.

Det er vigtigt at bemærke, at den nye praktiske definition af normaler for volt og ohm ikke må opfattes som en vedtagelse af værdier for  $e$  og  $h$ . Vedtægten gælder værdier for konstanterne  $K_J$  og  $R_H$ , til brug i målinger med henholdsvis Josephson- og kvante-Hall-effekt.  $h$  og  $e$  er naturkonstanter, som kan måles ved flere, uafhængige metoder. Hvordan man finder de bedste værdier for disse og andre naturkonstanter, er en helt anden historie.

### Den Internationale Temperatur Skala, ITS-90

“Temperatur” betyder i SI-systemet den termodynamiske temperatur, som den defineres i varmelæren. Vi skal ikke her gå ind på denne definition, blot bemærke, at den termodynamiske definition kun formulerer, hvad man skal forstå ved *forholdet* mellem to temperaturer. Grundenheden for temperatur (Kelvin = K) er defineret som en bestemt brøkdelen af temperaturen for et vist fikspunkt, nemlig vandets triplepunkt: den temperatur og det tryk, hvor rent vand i termisk ligevægt kan være tilstede i tre tilstandsformer (fast, flydende og mættet damp).

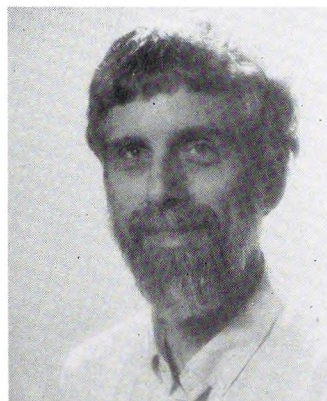
ITS-90 afløser den hidtil gældende internationale praktiske temperaturskala IPTS-68 og en provisorisk lavtemperaturskala EPT-76. I lighed med sine forgængere består ITS-90 dels i temperaturangivelser for en række termometriske fikspunkter (triplepunkterne for  $H_2$ , Ne, Ar,  $O_2$ , samt Hg og frysepunkterne for Ga, In, Sn, Zn, Al, Au samt Cu), dels i måleforskrifter for interpolation imellem disse samt for temperaturer udenfor det område, som fikspunkterne omfatter. Ved de laveste temperaturer, ned til 0,65 K, anvendes damptrykket af  $^3He$  og  $^4He$  samt heliumgastermometri. Fra ca. 14 K til 962 °C anvendes platinmodstandstermometri, og ved højere temperaturer benyttes Plancks strålingslov (pyrometri).

Den nye praktiske temperaturskala må opfattes som en udkrystallisation af de mest pålidelige målinger af den termodynamiske temperatur for de nævnte fikspunkter.

Kalibreringer efter den nye voltstandard kan foretages af Dansk institut for fundamental Metrologi (DFM)<sup>4</sup>, og et vigtigt afsnit af ITS-90 nemlig området 0-420 °C, er etableret ved Dansk teknologisk Institut i Århus<sup>5</sup>.

### Referencer:

1. H. Højgaard Jensen, Fysisk Tidsskrift **87** (1990).
2. P. E. Lindelof og N. F. Pedersen, Naturens Verden 1980, 250-263 (1980).
3. B. N. Taylor, Physics Today, august 1989, 23-26 (1989).
4. henv. t. Jan-Ulrik Holtoug, telf. 45 93 11 44.
5. henv. t. Ib Wessel, telf. 86 14 24 00.



Finn Berg Rasmussen, lektor ved Fysisk Laboratorium, Københavns Universitet. Gæsteforsker/professor ved ETH, Zürich 1965/66, Cornell University, New York 1973/74, og Université de Paris-Sud 1982, 1988, 1990. Termodynamiske og NMR eksperimenter ved millikelvin temperaturer.

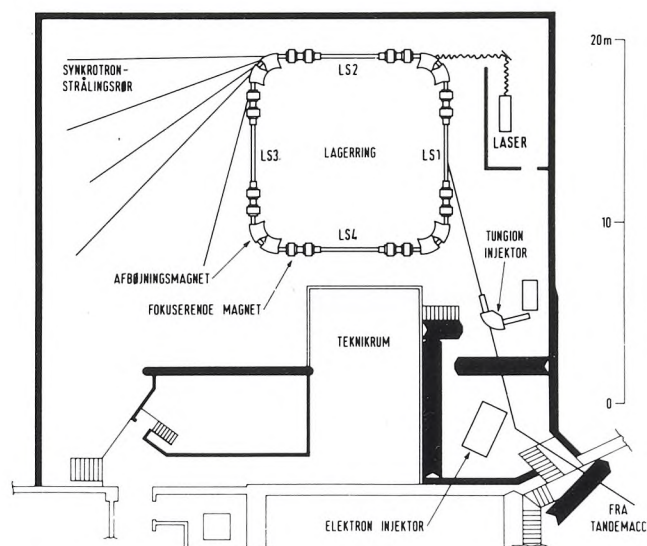
# Lagerringen i Århus

Jørgen Friis Bak, Aarhus Universitet

I et nyt underjordisk laboratorium ved Det fysiske Institut ved Aarhus Universitet er Danmarks hidtil mest avancerede acceleratoranlæg - en lagerring - blevet taget i brug. Det blev indviet ved en lille højtidelighed den 14. marts i år. Anlægget giver nye og meget spændende forskningsmuligheder ikke blot indenfor fysik, men vil også være en værdifuld nyskabelse for kemiske og biologiske undersøgelser.

## Hvad er en lagerring?

I en almindelig accelerator får en elektrisk ladet partikel fart på ved at passere et elektrisk spændingsfald. Ved hjælp af dipolmagneter og elektromagnetiske linser (quadropoler) styres strålen af ladede partikler i den ønskede retning. Hvis afbøjningsmagneterne arrangeres således at strålen kommer tilbage til sit udgangspunkt, er der mulighed for at partiklerne kan tage en tur til. Man har konstrueret en lagerring.



Figur 1. Grundplan af Aarhus-lagerringen. Partiklerne skydes ind i ringen i den lige sektion til højre, mens eksperimenter blandt andet vil finde sted i den lige sektion øverst på figuren.

Midt i magneterne indlægges et rør, der nedpumpes til lavest opnåelige tryk (ca.  $10^{-15}$  atmosfære), da partiklerne i strålen ellers vil blive spredt og nedbremses af luftmolekylerne. Fra en mindre accelerator skydes hurtige elektrisk ladede partikler (ioner eller elektroner) ind langs ringens tangent, og afbøjningsmagneter tvinger de ladede partikler til at cirkulere i ringen. Omkredsen af Århus-ringen er ca. 40 m, og partiklerne foretager op til et flere millioner omløb pr. sekund.

I en ring med meget gode magneter og tilstrækkeligt godt vacuum kan partikler cirkulere i flere timer. En sådan

lagring stiller naturligvis uhyre store krav til styring og stabilitet af alle lagringselementer, da partiklerne tilbage-lægger enorme vejstrækninger. Elektroner bevæger sig således med en hastighed tæt ved lysets hastighed.

Lagerringen kan også anvendes som en accelerator, idet partiklernes hastighed kan ændres lidt under hvert omløb. Dette sker i et accelerationselement placeret i en lige sektion, hvor partikler ved hver passage får et spark. Efter mange passager kan der ved denne teknik opnås meget høje energier, men med små accelerationsfelter.

## Genbrug af ioner - og stråling fra elektroner

Ioner fra sædvanlige accelerators kan kun bruges en gang og er derefter tabt. Lagrede ioner kan derimod genbruges, og det er derfor muligt at lave eksperimenter, hvor den samme ion undersøges over lang tid, idet den passerer det eksperimentelle udstyr, placeret i en af de lige sektioner i lagerringen, et meget stort antal gange.

Det er således muligt at påvirke ionen under en givet passage, og under de følgende passager kan man iagttage hvorledes ionen "husker" denne påvirkning.

Elektrisk ladede partikler, der accelereres, vil udsende elektromagnetisk stråling. Det kendes fra radioantenner og elektronernes hop mellem de enkelte baner i et atom giver anledning til udsendelse af synligt lys.

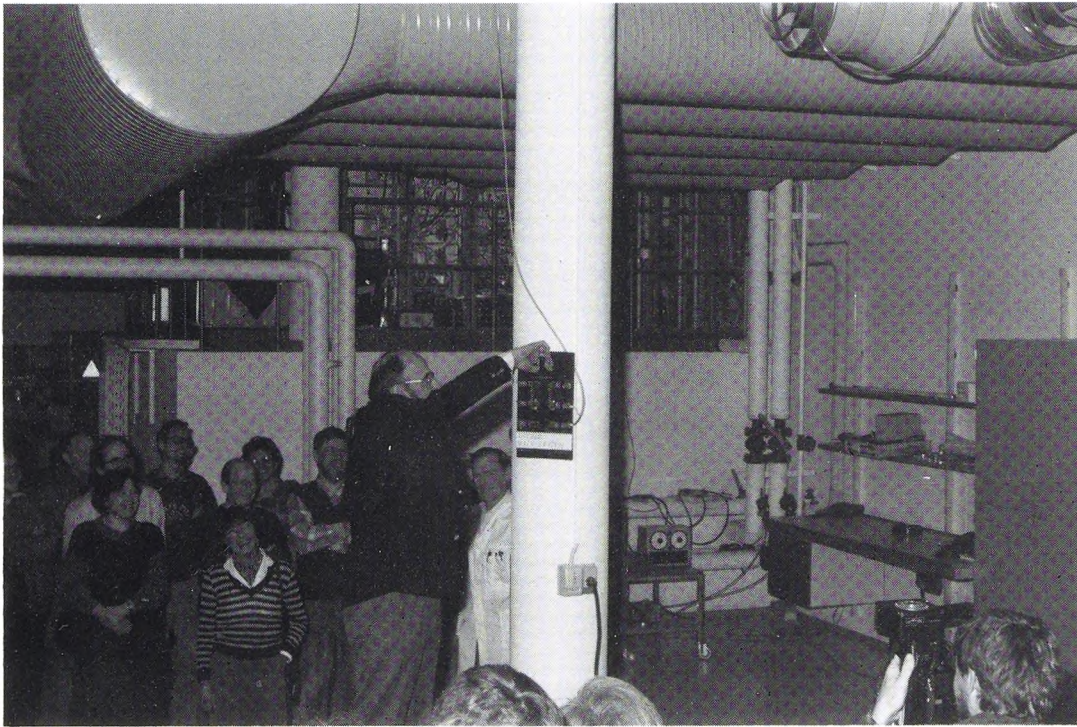
Elektroner, der afbøjes i lagerringens magneter, vil udsende den såkaldte synkrotronstråling, som resultat af denne afbøjning. Synkrotronstrålingen udsendes i form af synligt lys og røntgenstråling.

Under opsamlingen og accelerationen af elektronerne i lagerringen bliver de samlet i bundter. Hver gang et bundt drejer om hjørnet i en magnet vil der komme et glimt, hvorefter der er mørkt, indtil næste bundt kommer. Strålingen kommer ud fra hjørnerne i ringen og stort set kun i baneplanet. Lagerringen i Århus vil udsende røntgenstråling med en intensitet der er ca. 100.000 gange stærkere end fra et normalt røntgenrør.

## Indvielsen af lagerringen

I begyndelsen af 1990 blev lagerringen taget i brug, og de første lagringer af tunge ioner har fundet sted. Lagerringen er blevet døbt ASTRID (Aarhus STORAGE RING, Denmark), og driften varetages af ISA, Institute for Synchrotron radiation, Aarhus University, der har en stab af fysikere, ingeniører og teknikere til varetagelse af den daglige drift.

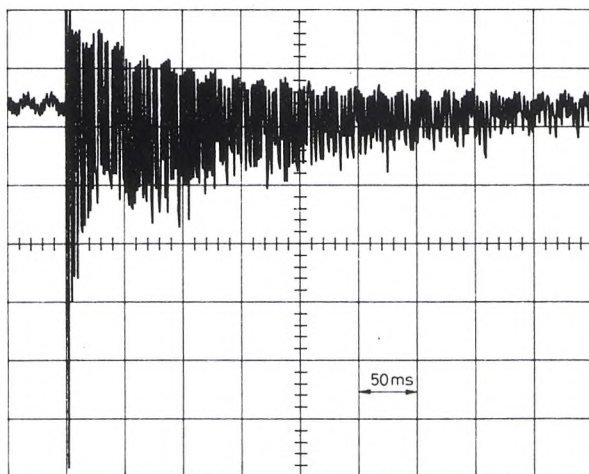
ASTRID blev indviet den 14. marts af rektor for Aarhus Universitet, Henning Lehmann, der slog hovedkontakten til og det blev iagttaget at ioner kunne lagres i 0,5 sek, svarende til at de løb 10.000 gange rundt i ringen og tilbagelagde 400 kilometer.



Figur 2. Rektor Henning Lehmann, Aarhus Universitet, indvier den nye lagerring ved at slå "ASTRID MAIN SWITCH" til.

I første omgang er lagerringen blevet konstrueret til lagring af ioner. I løbet af efteråret 1990 vil den blive udbygget, således at der også kan lagres elektroner, og maskinen vil så kunne tages i brug som synkrotronstrålingsanlæg. ASTRID vil skiftevis blive anvendt til lagring af tunge ioner og som synkrotronstrålingsanlæg.

Når elektrisk ladede partikler passerer forbi en metalplade, vil de inducere en strøm i pladen. Da partiklerne i ASTRID er bundtede vil det give anledning til et varierende strømsignal fra en sådan plade. Dette pickup-signal er en simpel måde til konstatering af om der cirkulerer en stråle i lagerringen.



Figur 3. Signal fra pickup-plader, der viser den strøm, som de cirkulerende partikler inducerer i disse plader ved deres passage.

### Laserfysik ved ASTRID

De første eksperimenter ved ASTRID vil dreje sig om at studere hvorledes ioner og lys vekselvirker. Når et atom absorberer en foton, vil lysets impuls også blive overført til atomet. Impulsen virker i lysets retning. Ved absorptionen anslås atomet. Kort tid efter vil det udsende fotonen igen, og falde tilbage i grundtilstanden. Denne udsendelse vil ske i en tilfældig retning, og den tilhørende impuls vil derfor også have en tilfældig retning. I middel får atomet således et skub fremad.

Med præcist stabiliserede lasere er det muligt at lyse på atomerne på en sådan måde at kun atomer med en speciel hastighed vil kunne absorbere fotoner. Det vil således være muligt for eksempel at skubbe til de langsomste atomer, og derved klemme atomernes hastighedsfordeling sammen, ligesom en sneplov skubber en bunke sne sammen. De første eksperimenter ved ASTRID drejer sig om studier af fænomener af denne art.

### Synkrotronstråling: Materiale teknologi og røntgenmikroskopi

Synkrotronstråling er et analyseværktøj med helt nye muligheder. I moderne overfladefysik sendes strålingen mod en overflade og absorberes, hvorefter elektroner udsendes. En analyse af elektronerne er et alsidigt redskab til at



**Figur 4.** Direktør for ISA, Erik Uggerhøj, beskriver lagringen, ASTRID, for rektor Henning Lehmann og formand for Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd, Mogens Nielsen.

undersøge overfladers struktur. Den udsendte røntgenstråling har en bred energifordeling. Det er ofte ønskeligt at have en veldefineret energi af den røntgenstråling, der bruges til en eksperimentel undersøgelse. Det kan opnås med en såkaldt monokromator, og ISA har allerede anskaffet en, der i øjeblikket befinder sig i Berlin, hvor der findes et synkrotronstrålingsanlæg. Om et par år vil denne monokromator blive flyttet til Århus.

I biologi og medicin stilles meget store forventninger til røntgenmikroskopi. Det almindelige lysmikroskops opløsningsevne er i mange tilfælde for dårlig, og elektronmikroskopet forudsætter tynde prøver, der er præparerede. Med et røntgenmikroskop kan undersøgelser foregå i luft, således at der kan anvendes våde prøver som for eksempel levende celler. Det vil ligeledes blive muligt ligefrem at følge udviklingen af en biologisk proces i en levende celle.

I moderne halvlederteknologi synes anvendelse af synkrotronstråling af være vejen frem, når mindre og mindre maskenetværk skal overføres til overfladen af et stykke silicium.

Med lagringen åbnes altså mange nye muligheder for studier i fysik, kemi, biologi samt materialeteknologi. Med projektet bliver det endvidere muligt for første gang i Danmark at accelerere partikler til højenergiområdet. Sådanne energier vil være yderst nyttige for opbygning og udvikling af udstyr til astro- og partikelfysik.

Synkrotronstrålingscentret udsender et nyhedsbrev. Første nummer er udkommet. Det kan fås ved henvendelse til centret.



Jørgen Friis Bak er kandidat fra Aarhus Universitet. Arbejdede herefter i en årrække med channelingeksperimenter ved CERN i Geneve. Er nu ansat ved det naturvidenskabelige fakultetssekretariat på Aarhus Universitet, og er desuden redaktør for KVANT.

# Klynger af atomer og molekyler

Sven Bjørnholm, Niels Bohr Institutet

## Et dagligdags fænomen

De fleste af os oplever hver eneste dag, at atomer og molekyler, som befinder sig på luftform, kan slå sig sammen og danne faste eller flydende partikler: En tågepartikel er en klynge af vandmolekyler. Det er en regndråbe også. Eller et snefnug. Det er klynger af kulstofatomer, vi ser i stearinlysens flamme eller i de sodpartikler, der sommetider stiger op fra flammen. Svejserøg indeholder klynger af jernatomer - og så fremdeles.

I de fleste industrilande foregår der en livlig forskningsaktivitet med sigte på at forstå de små partikler bedre. Hensigten med denne artikel er at give et indtryk heraf.

## Tekniske anvendelser

Forskningen stimuleres altid af de praktiske anvendelsesmuligheder, og mikroskopiske partikler optræder i de mest forskelligartede sammenhænge af teknologisk betydning. Småpartikler i røg og udstødningsgasser udgør et forureningsproblem, som kræver udvikling af filterteknologi og bedre forståelse af, hvordan luftforurening i form af aerosoler spredes under forskellige vejrforhold, og hvordan partiklerne kan medvirke til kemiske reaktioner i atmosfæren. Det har her vist sig, at askepartikler fra kulforbrændingen i kraftværker kan nyttiggøres ved cementfabrikation. I fotografering er småbitte sølvkorn grundlag for billedannelsen ved eksponering og fremkaldelse. Derfra er der et spring til industriel katalyse, som i mange tilfælde er baseret på opslemninger af yderst fin-kornet katalysatormateriale i form af metalpartikler. Pulverteknologi er endnu et område, hvad enten det drejer sig om reproduktionsteknik som i xeroxmaskinen, eller om nye materialer fremstillet ved presning og sintring af fine pulvere. Det kan derfor ikke undre, at store firmaer som IBM, Exxon, Bell Telephone eller Research and Development Corporation of Japan har stærke forskningsgrupper, der er beskæftiget med klyngeforskning.

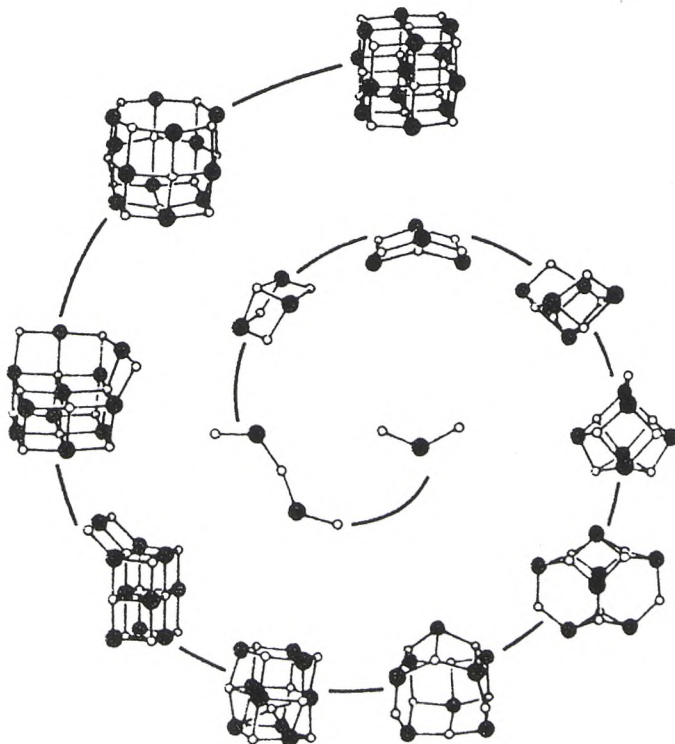
## Teoretiske aspekter

Også på universiteter og lærestalter er der meget i gang. Blandt andet fordi det er et arbejdsfelt, der byder på interessante og alsidige uddannelsesmuligheder, men måske især på grund af de mange spørgsmål af helt grundlæggende karakter, der åbner sig på området<sup>1,2</sup>.

Centralt står her problemerne omkring kindannelse og krystalvækst i underafkø-

lede luftarter. I almindelighed er det sådan, at hvis vi har et stykke fast stof i form af en smuk velordnet krystal, f.eks. et stykke is, så vil der være en tendens til, at nogle af vandmolekylerne forlader krystaloverfladen og fordeler sig på luftform i rummet uden om krystallen. Herfra vil de igen kunne slå sig ned på krystaloverfladen, mens andre molekyler fordamper (eller sublimerer, som det hedder, når fast stof går over i luftform). Der indstiller sig en dynamisk ligevægt mellem den ordnede, tætpakkede krystalform og den uordnede, fortyndede luftform. I tidens løb vil det enkelte vandmolekyle dele sin tilværelse mellem luftform og krystalform. Ved hjælp af begreber som bindingsenergi, temperatur og entropi kan man beskrive, hvorledes ligevægten indstiller sig i hvert enkelt tilfælde.

Anbringer vi krystallen i en rummelig beholder forsynet med et bevægeligt stempel, så vil der ved en givet temperatur og en bestemt stilling af stemplet være en bestemt fordeling af molekyler på krystalform og på luftform. En forøgelse af temperaturen eller af rumfanget vil få krystallen til at svinde ind til fordel for luftformen. Men hvis vi vender tilbage til den oprindelige temperatur og det oprindelige rumfang, vil krystallen igen antage sin tidligere størrelse. Vi



Figur 1. Vækstspiralen for krystalkorn af natriumklorid (kogsalt). Spiralen viser de første 12 trin, sådan som man forestiller sig dem ud fra teoretiske beregninger<sup>3</sup>.

har en reversibel ligevægt mellem de to tilstandsformer.

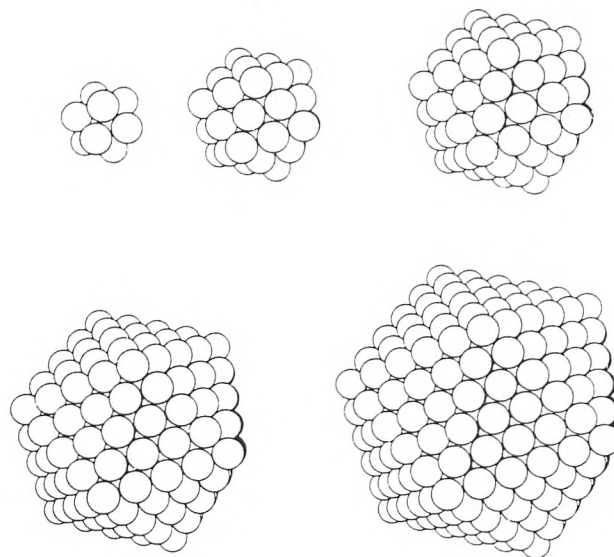
En ny situation indtræder, hvis vi udvider eller opvarmer så meget, at krystallen helt forsvinder. Går vi nu tilbage til udgangstemperaturen og -rumfanget, så burde krystallen dukke frem igen. Men hvordan skal molekylerne i luften finde ud af det? Så længe der var en krystaloverflade til stede, kunne det foregå ved, at et overtal af molekyler slog sig ned på krystallen i forhold til dem, der fordampede. Men nu er der ikke noget sted, hvor de kan slå sig ned og bygge videre på et etableret mønster. Det er i den situation, vi taler om en underafkølet luftart (På samme måde kan man tale om underafkølede væsker eller om overmættede opløsninger).

Det kan lyde, som om situationen er låst uhjælpeligt fast. Hvis det virkelig var tilfældet, ville vi aldrig kunne opleve snevejr! Men som bekendt sner det af og til, så molekylerne må på en eller anden måde finde ud af at slå sig sammen til kim, der vokser til større krystaller. Der er ingen tvivl om, at velvoksne, kompakte krystaller er den foretrukne, mest stabile form for fast stof, men det forhindrer ikke, at snefnug, sod- og røgpartikler eller andre små kim er tilstrækkeligt stabile til, at de kan være af både praktisk og teoretisk interesse.

Vi kan forestille os, at kimdannelse og -vækst sker ved, at to molekyler eller atomer til at begynde med finder sammen, et tredje lejrer sig derefter til, et fjerde adderes, og så fremdeles i en trinvis vækst. Det er vist på fig. 1. Det første interessante spørgsmål er nu, hvor langt vi skal ud i vækstspiralen, før det bliver trivielt. Dermed menes, at vi er nået frem til et kim, der er så stort, at dets egenskaber ikke afviger væsentligt fra en makroskopisk krystals egenskaber. Det er jo karakteristisk, at de egenskaber, vi regner for interessante ved faste stoffer, ikke afhænger af om vi har en større eller mindre klump foran os. Det andet interessante spørgsmål er, om vi på vejen ud langs spiralen støder på særlige lovmæssigheder, som vi ifølge sagens natur hverken kan finde hos luftarter eller hos makroskopiske krystaller.

### Xenon klynger

Et eksempel på særlige lovmæssigheder langs vækstspiralen ser man hos klynger af xenonatomer. Her viser det sig, at der er en række magiske klyngestørrelser, som udmærker sig ved særlig stor relativ stabilitet. De magiske antal atomer er 1, 13, 55, 147, 309, 561, ..., og man har kunnet vise, at de afspejler en pakning af de kugleformede atomer i såkaldte



**Figur 2.** De særligt stabile trin i xenonklyngers vækstspiral. Konfigurationen (a) består af 13 kugler, (b) 55, (c) 147, (d) 309 og (e) af 561 kugler<sup>4</sup>.

Mackay ikosaedre, fig. 2.

Det simpleste ikosaeder fremkommer ved, at to femkantede pyramider - med en kugle i hvert af de seks hjørner - omslutter en kugle i midten, altså ialt 13 kugler. Det næste dannes ved at pakke et enkelt lag kugler udenpå, og så fremdeles, lag for lag. Man kan nok forestille sig, at disse afsluttede kuglepakninger er mere stabile end forskellige mellemformer. Flere andre luftarter: krypton, argon, neon, og også kvælstof ( $N_2$ ) danner klynger efter samme princip, og spiralen fortsætter, så langt man har kunnet måle, op til ca. tusind atomer.

Kuglepakningerne på fig. 2 kunne overfladisk set minde om atomer ordnet i en krystal. Men ved nærmere eftersyn viser der sig en afgørende forskel. Alle makroskopiske krystalformer er translationsinvariante: hvis man i tankerne skærer et område ud af dem, kan man ved at skubbe det, uden at dreje, bringe det til fuldstændigt at dække et andet område længere henne i krystallen. Det kan man ikke med de lagdelte, femtalssymmetriske ikosaedre - lige så lidt som man ville kunne gøre det med et løg.

Vækstspiralen for disse klynger af atomer eller molekyler viser altså nye lovmæssigheder, og vi skal i hvert fald følge spiralen mere end tusind trin, før vi når den trivielle grænse.

## Andre magiske talrækker

Grundstofferne er ordnede i det periodiske system. Det enkelte grundstofs neutrale atom har et karakteristisk antal elektroner ordnet i orbitaler omkring den positivt ladede atomkerne. Her optræder der også bestemte magiske antal med særligt stor stabilitet. Det er ædelgasatomerne med elektrontallene 2 (helium), 10 (neon), 18 (argon), 36 (krypton), 54 (xenon), og 86 (radon), altså lige tal i modsætning til xenonklyngernes vækstspiral (fig.2).

Atomernes opbygning bestemmes af kvantemekanikken. Det samme gælder for atomkernerne. Her findes ligeledes magiske tal for antallet af protoner og neutroner, svarende til særligt stor stabilitet: 2, 8, 20, 50, 82 og 126. Når det ikke er de samme tal som i atomernes række, hænger det sammen med, at de naturkræfter, der holder partiklerne sammen i atomkernerne og i atomerne er helt forskellige. Atomkernernes vækstspiral er af stor betydning for dannelsesprocesserne i forbindelse med supernovæeksplosioner rundt om i mælkevejssystemet.

Disse to eksempler på en orden i naturen, der skal forstås ud fra kvantefysikkens bølgebegreb, understreger hvor fundamentalt dette begreb er. Der knytter sig derfor en ganske særlig interesse til at kunne følge vækstspiralen i sådanne tilfælde. Men her er vi stødt på uoverstigelige hindringer. Der findes kun 92 grundstoffer i naturen, og selv om det ved store anstrengelser i laboratoriet er lykkedes at fremstille yderligere 17 grundstoffer, står det nu klart, at man er ved at nå en grænse, der ikke lader sig overskride. Det ligger i, at der er grænser for atomkernernes indhold af protoner (omkring 110) og neutroner (omkring 170).

## Et nyt perspektiv for kvantefysikken

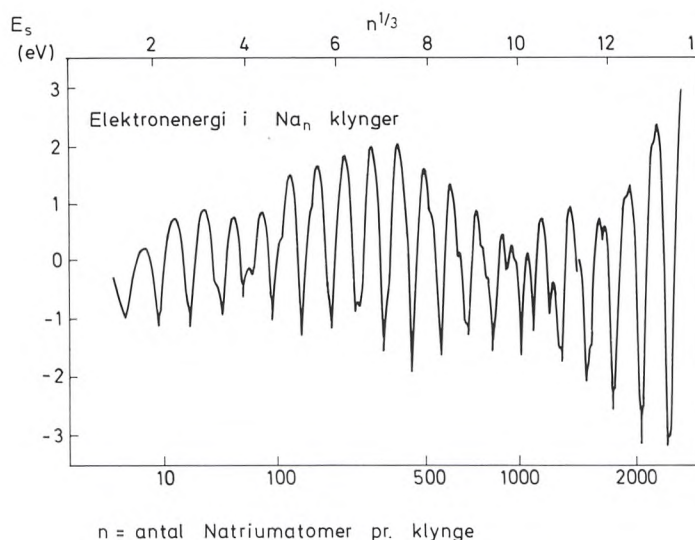
I den situation ligger der et betydeligt perspektiv i en opdagelse, som for nogle år siden blev gjort af en amerikansk forskergruppe<sup>5,6</sup>. De kortlagde vækstspiralen for klynger bestående af natriumatomer og fandt her lige magiske tal: 2, 8, 20, 40, 58 og 92. Kort efter kunne en

japansk gruppe fremvise lignende resultater i forsøg med klynger af sølvatomer<sup>7</sup>. Det har siden vist sig, at metallerne kalium, kobber og guld opfører sig på samme måde. Man har yderligere kunnet vise, at det næste magiske tal er 138, og det næste igen ser ud til at være 198. Alt tyder på, at vi her igen står over for systemer, der er domineret af den kvantemekaniske orden - i dette tilfælde hos ledningselektronerne i metallet. Samtidig er det klart, at for klynger af metalatomer kan vækstspiralen fortsættes lige så langt ud det skal være, uden nogen form for begrænsning.

Det er nu et spørgsmål hvor langt ud, det i praksis vil vise sig muligt at følge den form for orden, som tidligere kun var kendt fra atomernes og atomkernernes begrænsede verden. Hvad nyt kan man vente sig? Og hvornår bryder overlejningsprincippet for elektronernes bølgefunktioner sammen for at erstattes af det mere gængse sideordningsprincip, som beskriver makroskopiske metalstykker ("den trivielle grænse")?

Hvad det sidste spørgsmål angår, kan man støtte sig til begrebet *fri middelvejlængde* for ledningselektronerne. De elektroner, der leder den elektriske strøm i metaller, er nok frit bevægelige, men den elektriske modstand er udtryk for, at elektronerne af og til bremses ved at støde på noget inde i metallet. Dette "noget" er dels urenheder og fejlsteder i metallet, dels metalionernes varmesvingninger (fononer). Bølgebeskrivelsen af elektronerne og af deres overlejrrede bølgemønstre vil miste sin mening, hvis den udstrækkes til områder, der er større end den frie middelvejlængde. Så her ligger en grænse. Men ud fra det, der vides om metallernes elektriske modstand, er det ikke nogen snæver grænse. Metalklyngerne kan vokse til størrelser på mange tusinde atomer, inden der opstår problemer. Og jo mere klyngerne køles, desto større kan de blive uden at nå denne grænse.

Hvad nyt kan man i givet fald vente sig ved at gå adskillige tusinde skridt ud ad vækstspiralen? På en vis måde vil det svare til at udvide grundstoffernes periodiske system til at omfatte tusinder af grundstoffer. Men kun på



**Figur 3.** Beregning af ledningselektronernes energi i natriumklynger som funktion af antallet af atomer i klyngen<sup>8</sup>. De nedadrettede spidser svarer til de særligt stabile (magiske) systemer. De første fire peger på de magiske tal 2, 8, 20 og 40.



en vis måde. En lille metalkugle er ikke det samme som et atom, selv ikke, hvis antallet af ledningselektroner skulle passe med antallet af elektroner i atomet, og antallet af metalioner skulle svare til antallet af positive protoner i atomkernen (så de begge var elektrisk neutrale). I atomet er den positive ladning samlet i praktisk taget eet punkt, atomkernen. Der er også atomets masse samlet (på nær de få tusindedele, som elektronerne vejer). I metalklyngen derimod, er elektronernes negative ladninger og metalionernes positive ladninger (samt deres masse) jævnt fordelt over hele klyngens rumfang.

Men metalklyngerne kan alligevel betragtes som en slags pseudo-atomer, og de danner, som forsøgene har vist, et periodisk system ligesom de rigtige atomer. Man ved endnu ikke, hvordan dette meget større system er indrettet. Dog er der meget, der tyder på, at det har større lighed med atomkernernes periodiske system af kernepartikler (protoner og neutroner) end med atomernes elektronsystem. Skal man gætte, hvordan det vil gå, kan man derfor hente inspiration fra den teoretiske kernefysik. Her forudsiger teorien, at det periodiske system fortsætter, men at perioderne bliver længere og længere. Metalklyngens diameter skal vokse med et ganske bestemt beløb for hver ny periode. Jo større metalklyngen er, jo flere atomer skal der lægges på, for at diameteren vokser et bestemt stykke (fordi klyngens overflade er proportional med diameteren i anden potens).

I princippet er der ikke noget i vejen for at fremstille pseudo-atomer svarende til den 25'ende eller den 30'te periode i systemet. Det kan lyde lidt kedsommeligt og ville vel også være det, hvis det var hele historien. Men teorien forudsiger mere. Ifølge den skal der være en overordnet periodicitet. De første ti perioder udvikles normalt, men fra den tiende til den femtende periode bliver kontrasten mellem de magiske og de mellemliggende kvantesystemer svagere og svagere - for så at tiltage i styrke fra den femtende til den tyvende periode! Figur 4 viser resultatet af en konkret beregning. Denne vekslen mellem svag og stærk kontrast fortsætter (i teorien) op til klyngestørrelser med over 10.000 atomer.

En nærmere diskussion af, hvad der ligger bag denne overordnede periodicitet hos kvantesystemernes vækstspiral, vil føre for vidt i denne sammenhæng. I første omgang ville det også være mere interessant, hvis man kunne henvise til eksperimenter, der viser, om teorien overhovedet har noget på sig. På Niels Bohr Institutet ved Københavns Universitet er eksperimenter af denne art i gang. Indtil nu har man påvist den forventede periodicitet i klynger med op til ca. 600 atomer.

En af de ting, der kan gøre udfaldet usikkert, er de positive metalioners rolle. I teorien beregnes alene ledningselektronernes kvanteenergi og det forudsættes, at metalklyngerne er strengt kugleformede. Den energi, der kan vindes ved, at metalionerne danner et krystalgitter, der vil ødelægge kuglesymmetrien, antages at spille en underordnet rolle. For klyngestørrelser op til 600 atomer er dette åbenbart rigtigt nok, men om det holder stik for meget større klynger, er et åbent spørgsmål.

## Nye fagkombinationer

De her omtalte eksempler på klynger af metalatomer og af xenonatomer er på ingen måde dækkende for hele den forskning, der søger at klarlægge, hvorledes faste stoffer i makroskopiske størrelser opstår ved en trinvis sammenbygning af frie atomer eller molekyler. Måske er det dog tilstrækkeligt til at give et indtryk af en forskningsaktivitet, der forbinder veletablerede discipliner som atomfysik, kernefysik, kvantekemi, faststoffysik, overfladefysik og krystallografi på en ny måde.

## Referencer:

1. Klavs Hansen, Fysisk Tidsskrift **85**, 179 (1987).
2. Michael Steen Hansen, Dansk Kemi, marts 1989, 71 (1989).
3. G. Benedek, T. P. Martin og G. Pacchioni (eds.), Springer Series in Materials Science: *Elemental and Molecular Clusters* Springer (Berlin og Heidelberg 1988).
4. O. Echt, K. Sattler og E. Recknagel, Phys. Rev. Lett. **47**, 1121 (1981).
5. W. D. Knight, K. Clemenger, W. A. de Heer, W. A. Saunders, M. Y. Chou og M. L. Cohen, Phys. Rev. Lett. **52**, 2141 (1984).
6. W. A. de Heer, W. D. Knight, M. Y. Chou og M. L. Cohen, Solid State Physics **40**, 93 (Academic Press 1987).
7. I. Katakuse, T. Ichihara, Y. Fujita, T. Matsuo, T. Sakurai og H. Matsuda, Int. J. Mass Spectrometry and Ion Processes **67**, 229 (1985).
8. Beregninger af K. Hansen og H. Nishioka, Niels Bohr Institutet.



Sven Bjørnholm dr.phil (1965), docent ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet. Arbejdede indtil ca. 1986 hovedsageligt med atomkerners struktur og dynamik, derefter med klyngefysik.

# Zenons Paradoks

## — Ren logik eller besnærende retorik?

Mikkel Thorup, Oxford University

*Vi befinder os i Grækenland år 500 f.Kr.*

*— Achilleus, Achilleus, Achilleus ... lyder det taktfast fra tilskuerne på det store stadion. Manden, hvis navn de råber, har taget opstilling ved starten af løbebanen. Han er høj og meget atletisk bygget. Han tager råbene med en ophøjet ro. Det er ikke første gang. Lang tids hård træning betyder, at han nu er kendt som den hurtigste dødelige græske krigere. Det eneste andet på banen er tilsyneladende blot en stor grå sten ved hans fod.*

*Startskuddet lyder. Achilleus bliver bare stående, men der sker noget med stenen. Først kommer et lille hoved frem, dernæst fire små ben og tilsidst en lille bitte hale — en skildpadder. Skildpadden har på dyrenes vegne udfordret Achilleus, og for at bevise den menneskelige races totale overlegenhed har Achilleus taget mod udfordringen. Langsomt men sikkert kommer skildpadden op på alle fire og begynder at stolpre afsted.*

*Achilleus tøver. Han ser nærmest ud, som om han føler sig lidt til grin — Hvorfor skal han, Achilleus, løbe om kap med dette kluntede og langsomme dyr. Pludselig kigger skildpadden tilbage...*

*— Du kan ikke indhente mig.*

*Så starter Achilleus. På et øjeblik når han det sted, hvorfra skildpadden råbte, men skildpadden er i mellemtiden nået et stykke længere frem.*

*— Du kan ikke indhente mig.*

*Og sådan bliver de ved. Hvergang Achilleus kommer til et sted, hvorfra skildpadden har råbt, er skildpadden nået et stykke længere frem, hvorfra den igen råber. Achilleus får derfor aldrig indhentet skildpadden.*

Denne lille historie er min egen dramatiserede version af "Zenons Paradoks". Det paradoksale ved historien er, at den forudsiger noget helt urimeligt; nemlig at Achilleus, sin hurtighed til trods, *ikke* vil kunne indhente den langsomme skildpadder.

### Hvorfor beskæftige sig med historien?

Tager vi med på første tur med en helt ny rutschebane; så gør vi det i fuld tillid til at selv det største bump ikke vil kaste os af. Vi regner med, at en ingeniør, ud fra vognens fart og bumpenes størrelser, har beregnet, at det ikke vil ske.

Ingeniørens beregninger er at opfatte som en serie af forhåbentligt holdbare argumenter, der gør det muligt at forudse, hvordan en køretur med rutschebanen vil udvikle sig.

At kunne forudse på den måde benyttes meget, når ny teknik skal udvikles.<sup>1</sup>

At kunne stole på ny teknik, som f.eks. den nye rutschebane, afhænger derfor i høj grad af, om vi kan afgøre, hvornår argumenter fører til sikre forudsigelser — hvornår argumenter er holdbare.

### Hvad nu med "Zenons Paradoks"?

Det indeholder noget, der ligner en holdbar argumentation, og vi ville derfor gerne kunne stole på konklusionen: at Achilleus, sin hurtighed til trods, aldrig vil kunne indhente den langsomme skildpadder.

Nu er det "tilfældigvis" sådan, at vi gennem vores almindelige erfaring véd, at konklusionen er gal. Vi ved, at én, der er hurtig, altid vil kunne indhente én, der er langsommere. Vi kan derfor stemple argumentationen som uholdbar.

Der er nu to muligheder:

- Enten finder vi mindst én god forklaring på, hvorfor argumentationen i "Zenons Paradoks" ikke holder.
- Eller også må vi erkende, at vi ikke altid er i stand til at afgøre, hvorvidt argumenter holder. Det betyder i sin yderste konsekvens, at vi ikke kan stole helt på forudsigelser baseret på argumentation. Dermed vil i hvert fald en vigtig del af grundlaget for den tekniske udvikling bryde sammen.

### Mange bække små ...

Kan det virkelig passe, at skildpadden ved sine taktisk velplacerede råb kan forhindre den langt hurtigere Achilleus i nogensinde at indhente sig?

Rent praktisk kunne man indvende, at efterhånden som Achilleus nærmer sig skildpadden, vil tiden, imellem at skildpadden skal råbe, blive så kort, at den slet ikke vil kunne nå at åbne munden. Skildpaddens råb er imidlertid kun tænkt som pædagogiske billeder på bestemte tidspunkter. Om de rent faktisk vil kunne nå at blive udført, er derfor ikke afgørende for argumentationen.

Der er et andet, mere alvorligt problem ved argumentationen: Det er som om den, ud fra at skildpadden kan råbe *uendeligt* mange gange, når frem til, at skildpadden kan råbe

<sup>1</sup> Man kan sige at hele målet med naturvidenskaben er at finde de teorier, der giver de bedste muligheder for korrekt at forudse kemiske, fysiske og biologiske hændelsesforløb.

*uendeligt* lang tid. For at indse, at man ikke kan slutte sådan, bliver man nødt til at kende lidt til, hvad der sker, når man lægger mange små størrelser sammen.

Tag situationen til en fest, hvor der er ét stykke kage tilbage. Ingen kan få sig selv til at tage hele stykket, fordi det er det sidste. Når der er én, der vil have et stykke, nøjes vedkommende derfor med kun at tage halvdelen af hvad der er tilbage. Gør alle sådan, vil man kunne blive ved med at skære stykker af kagen. Alligevel vil man aldrig sammenlagt kunne komme til at spise mere kage, end der oprindeligt var.

Konklusionen må være, at et stykke kage stort set er det samme som halvdelen plus halvdelen af halvdelen plus halvdelen af halvdelen af halvdelen ... af det samme stykke kage. Dette begrundes den matematiske ligning:

$$1 = 1/2 + 1/4 + 1/8 + \dots = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2^n}$$

For at kunne bruge ligningen mod Zenons argumentation, må vi antage, at Achilleus løber præcis dobbelt så hurtigt som skildpadden. Da Achilleus egentlig løber mange gange hurtigere, kan denne antagelse kun være til skildpaddens fordel.

At Achilleus løber dobbelt så hurtigt som skildpadden betyder, at skildpadden i tiden mellem to råb kun når halvt så langt som Achilleus. Skildpaddens forspring og dermed tiden mellem råbene bliver derfor halveret mellem hvert råb — altså noget i stil med kageeksemplet.

Vi kan nu prøve at sammenholde tiden,  $t$ , fra skildpaddens første til skildpaddens andet råb med summen over tiderne mellem de resterende råb: Da tiden mellem råbene bliver halveret mellem hvert råb, bliver tiden mellem andet og tredje råb halvt så stor som tiden mellem første og andet råb — altså  $t/2$ . Tiden mellem tredje og fjerde råb bliver igen halvt så stor — altså  $t/4$ . Således kunne vi fortsætte, så vi får at summen over tidsrummene mellem råbene fra og med det andet bliver<sup>2</sup>:

$$t/2 + t/4 + t/8 + \dots = (1/2 + 1/4 + 1/8 + \dots)t = 1t$$

Lægger vi nu tiden mellem første og andet råb,  $t$ , til, får vi summen af tiderne mellem alle råbene. Den samlede tid skildpadden kan råbe i, bliver derfor  $t + t = 2t$ .

Da vi ved, at skildpadden når at råbe både første og anden gang, kan tiden,  $t$ , mellem disse to råb ikke være uendelig — altså må  $t$  være endelig. Men så må også  $2t$  være endelig, og vi kan derfor konkludere, at skildpadden sammenlagt kun kan råbe endeligt lang tid.

Vi har nu vist, at vi *ikke*, ud fra at skildpadden kan råbe *uendeligt* mange gange, kan slutte, at den kan råbe *uende-*

*ligt* lang tid. Tværtimod har vi vist, at den på et tidspunkt — efter et *endeligt* stykke tid — må blive færdig med at råbe.

### Hinsides uendeligheden???

Det ser nu ud til, at vi har fundet fejlen i “Zenons Paradoks” — for når først skildpadden er færdig med at råbe, skulle der ikke være noget, som forhindrer Achilleus i at overhale den.

Som afslutning på historien bringes et interview med den uheldige skildpadder, der i sin skam har trukket sig ind under sit skjold og igen ligner en stor grå sten:

— *Det var synd du tabte. Jeg hørte, at du, indtil du blev overhalet, råbte et eller andet en gang imellem. Hvornår råbte du egentlig for sidste gang?*

— Aldrig!

— *Jamen du holdt da op med at råbe, da du blev overhalet.*

— Det er rigtigt, men jeg fik alligevel aldrig råbt en sidste gang. Det må du også selv kunne indse, for hvis jeg fra et sted havde råbt for sidste gang, så skulle det betyde, at Achilleus aldrig kom til dette sted<sup>3</sup>, og hvordan skulle han så have indhentet mig.

— *Hmm... Du gjorde altså noget en gang imellem, som du på et tidspunkt holdt op med, uden at få det gjort for sidste gang. Det kan da ikke passe.*

Ja. Hvad skete der egentlig? Både det intervieweren og skildpadden siger lyder rimeligt, så i sin helhed udgør samtalen en overbevisende argumentation for, at selve overhalingen er umulig.

Vi står altså stadig, som da vi startede, over for en tilsyneladende holdbar argumentation for noget forkert — at overhalingen er umulig. Da dette ikke er acceptabelt, må vi til at finde huller i de to's udtalelser.

Intervieweren siger, det ikke kan passe, at skildpadden aldrig får råbt for sidste gang. Har han ikke ret? Er det ikke i strid med vores erfaring, at man skulle kunne gøre noget en gang imellem og så holde op med det, uden at få det gjort for sidste gang?

Jo, det er det; men vores erfaring stammer fra en verden, hvor alting højst kan foregå et *endeligt* antal gange. Hvis vi forsøger at bruge vores erfaring på skildpaddens *uendelige* serie af råb, gør vi noget, vi ikke har belæg for.

Interviewerens kategoriske afvisning er derfor ikke holdbar.

Havde intervieweren været opmærksom på dette, kunne han have afsluttet med at sige:

— *Det, du siger, lyder meget interessant, for det betyder, at hvis man gør noget uendeligt mange gange, så kan man ikke nødvendigvis snakke om den sidste gang, man gør det.*

<sup>2</sup> Her er det ligningen fra før bruges.

<sup>3</sup> Ifølge "reglerne" skal skildpadden råbe når Achilleus kommer til det sted, hvorfra den sidst har råbt.

Og dermed ville han have givet en mulig forklaring på "Zenons Paradoks".

Med interviewerens forklaring er vi ude over det fundamentale problem – en argumentation for noget forkert, der ikke kunne bortforklares. Desværre kan vi ikke være sikre på, at det er den eneste forklaring, før vi har undersøgt skildpaddens argumentation.

Skildpadden konkluderer, at den aldrig får råbt en sidste gang. Det afgørende ved dens argumentation er, at den hævder, at den umuligt kan råbe fra et sted, Achilleus ikke kommer til. Dette lyder rimeligt, men igen er det et spørgsmål, om det ikke blot er vores erfaring, der spiller os et puds.

Vi har alle en idé om, at tidspunkter kan ligge vilkårligt tæt: Fra vores hverdag ved vi, at givet to tidspunkter kan vi altid pege på et tredje tidspunkt, der ligger midt i mellem dem, og sådan synes vi, at man i hvert fald teoretisk burde kunne fortsætte i det uendelige – men kan man det?

Med kagen ved vi, at den i virkeligheden kun kan deles, indtil der er ét molekyle tilbage. Svarende til molekylet, der er den mindste stofenhed, kunne vi forestille os, at der var en mindste tidsenhed; et tidskvant. Havde man så to tidspunkter adskilt ved ét tidskvant, ville der ikke være nogen tidspunkter imellem dem.

Indførelsen af tidskvanter kunne give endnu en mulig forklaring på "Zenons Paradoks". For at vise dette, har jeg lavet endnu en version af interviewet med den uheldige skildpadder.

– *Det var synd du tabte. Jeg hørte, du råbte et eller andet en gang imellem. Hvornår råbte du egentlig for sidste gang?*

– Da Achilleus manglede et tidskvant i at indhente mig.

– *Nå ... Hvad skete der så?*

– Jo. I løbet af næste tidskvant lykkedes det Achilleus, at komme forbi det sted jeg havde råbt fra, indhente mig og komme uden om Zenons argumentation.

### Tilbage til virkeligheden

Vi har nu ikke blot én, men to mulige forklaringer på "Zenons Paradoks".

Hvilken af de to forklaringer, der er den rigtige, kan vi ikke afgøre, for i vores virkelige verden kan vi ikke lave forsøg med uendeligt mange råb eller uendeligt små tidsrum.

Omend forklaret, står "Zenons Paradoks" tilbage som et smukt eksempel på, hvordan vi med snedig retorik kan besnæres til at tro det umulige.



Mikkel Thorup er født 1965 og licentiatstuderende i datalogi på Danmarks Tekniske Højskole, men for tiden ved Oxford University.

Spectra-Physics

Spectra  
Diode Labs

LASOTRONIC®

uniphase

ANDO

PHOTON  
inc.

JOBIN  
YVON

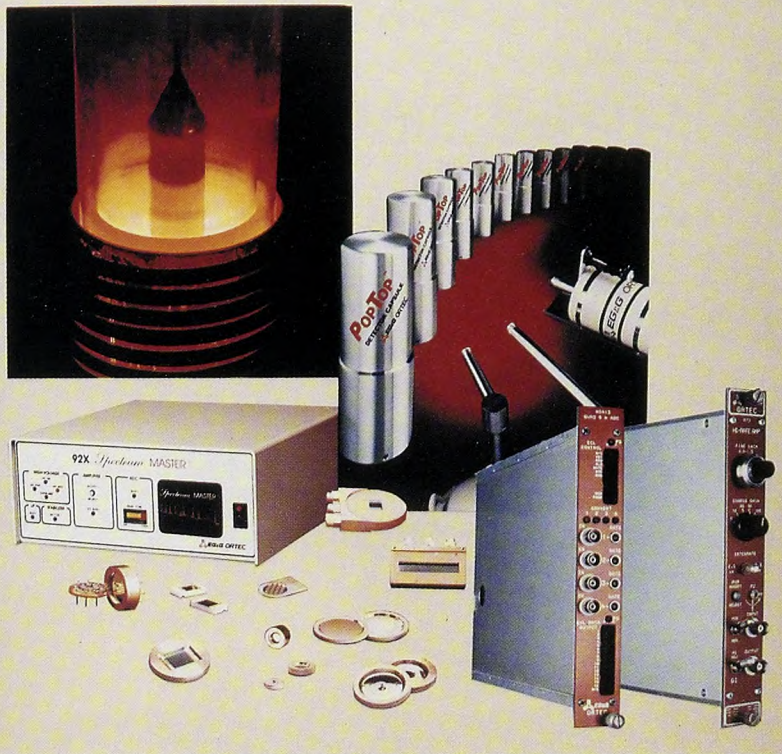
OPHIR

Exciton

burleigh

LASER  
PHOTONICS

UNITED  
DETECTOR  
TECHNOLOGY



TOOLS  
of the  
TRADE

- Radiation
- Detection
- Measurement
- Analysis

EG&G  
ORTEC

Den danske leverandør  
af radioaktivitetsmåle-  
udstyr samt laser -  
og opto - elektronik  
fra de førende  
fabrikanter



LSI laser science, inc.

micro-  
controle

EG&G ORTEC

QUESTEK

EG&G  
GAMMA SCIENTIFIC

EG&G  
FIBER OPTICS

Quanta-Ray

EG&G PRINCETON  
APPLIED RESEARCH

PHOTON  
CONTROL

b.b.t.  
instrumenter

BBT Instrumenter ApS  
Dr. Olgasvej 6  
DK-2000 Frederiksberg

Telefon 31 19 82 08  
Telefax 31 19 87 47  
Telex 35 326 bbt dk

ELEKTRONIK  
ELEKTROMEDICIN  
ELEKTROKEMI  
FORSKNING  
UNDERVISNING

## Inerti i dansk fysik.

Søren Isaksen, Koncernudviklingschef, NKT A/S.

Ofte hører man næsten dommedagslignende profetier om dansk industris muligheder i et kommende, meget konkurrencebetonet, indre (eller globalt) marked. Ser man bort fra lægemiddel branchen er der bestemt også grund til en vis bekymring. De danske virksomheder er små og har bl.a. derfor uforholdsmæssige store markedsføringsudgifter, produkterne er ofte karakteriseret ved lav teknologisk højde og en beskednen F&U-indsats.

Ikke desto mindre synes jeg man kan spore en positiv udvikling. I de større danske virksomheder, men også i flere mellemstore og mindre, men specialiserede virksomheder, er der som noget nyt blevet ansat universitetsuddannede medarbejdere med en forskningsbaggrund. Og disse virksomheder færdes derfor nu mere hjemmevant i universitetsmiljøet. Dette tolker jeg som et udtryk for, at der i danske virksomheder er opstået behov for at gennemføre F&U-aktiviteter på et væsentligt højere niveau end tidligere.

Og dette er i øvrigt den naturlige vej rundt. En bedre dansk industri skabes ikke af en forceret "kunstig" høj dansk forskningsindsats. Det er derimod industrien, der skal ændre sig på en sådan måde, at der opstår et **reelt behov** for en øget F&U-indsats. Jeg tror ikke, at et højt nationalt F&U-niveau alene er et sundhedstegn, men et højt F&U-niveau skabt af et industrielt behov er et sundhedstegn.

Disse tendenser i retning af en styrkelse af danske virksomheders F&U-indsats er blot ét element af en stor **forandringsproces**, som mange virksomheder har gennemgået de seneste 10-15 år. Magtstrukturer og ledelsesmønstre er radikalt omlagt. Perspektivløse forretningsområder og uvæsentlige funktionsområder er bortsaneret. Til gengæld er nye områder bygget op. Medarbejdere er omplaceret eller udskiftet, og nye er kommet til.

Denne forandringsproces vil fortsætte og er nødvendig for, at virksomhederne kan klare sig i en fortsat skærpet konkurrencesituation. Med det kvalitative løft, der allerede er sket i virksomhedernes F&U-miljø, og den fortsatte udvikling, der her kan forventes, tror jeg, at danske virksomheder fremover vil have voksende behov for samarbejde med universitetsmiljøer. Men fremover på en mere ligeværdig måde, så der også flyder væsentlig viden tilbage til universiteterne.

Hvordan ser tendensen så ud for universitetsverdenen og her specielt det danske fysikmiljø, når man sidder noget på afstand og måske lidt indhyllet i sine fordomme?

Inden for de senere år er der dukket enkelte nye og vægtige miljøer op. Men fornyelsesgraden virker ringe, og

på 10-15 års sigt kan man godt frygte, at det bliver dyb nat. Med institutternes nuværende aldersprofiler og en udskiftningsmekanisme næsten alene baseret på en endda meget sen pensionering, er det svært at se, hvorfra fornyelsen skal komme i de kommende år.

Den lette løsning vil naturligvis bestå i øgede bevillinger til de fysiske institutter. Men da danske bevillinger til fysikforskningen målt i forhold til andre lande ligger højt, vil en sådan løsning være uforsvarlig. De nedskæringer, der kan frygtes i de kommende år, bør efter min mening ikke gennemføres; til gengæld kunne man måske spare lidt på de midler, der angiveligt bruges til "forskning" i det teknologiske servicenet (Teknologiske- og ATV institutter).

Den rigtige løsning må bestå i at få etableret reguleringsmekanismer, der bevirker, at der opstår et mere ideelt forhold mellem erfaring og fornyelse, at nye spændende områder dyrkes op på bekostning af mindre spændende områder. D.v.s., at der bør etableres en styrelse og en ledelsesstruktur, som på samme måde, som det sker i industrien, er i stand til at befordre et progressivt og tidssvarende forskningsmiljø. Det virker absurd, at netop universitetsmiljøet, der burde være karakteriseret ved udvikling og anarki, i den grad er blevet pakket ind i en konserverende dyne. Hovedårsagen hertil må efter min mening helt klart søges i Styrelsesloven.

Den oprindelige intension med styrelsesloven var utvivlsomt netop at fremme nytænkning og dynamik, men erfaringen har gjort de idealistiske ideer til skamme. Styrelsesloven betyder i virkeligheden, at institutternes ledelse varetages af en slags samarbejdsudvalg. De bevillinger, der tildeles institutterne, er reelt uafhængige af, hvorledes disse ledes.

Samarbejdsudvalgene vil derfor i sagens natur modarbejde ændringer. Og konsekvensen bliver dermed ofte: manglende handling, dårlige beslutninger og dårlig ledelse.

**Inertien har fået for stor magt i dansk fysik. Det går på langt sigt ud over tyngden.** Dette er desto mere beklageligt, eftersom danske industrivirksomheder synes at have stigende behov for og ønske om et tættere samarbejde med fysikkens forskningsmiljøer.



## MULTIKANALSKRIVERE

Konstrueret og fremstillet i overensstemmelse med YOKOGAWA's høje krav til kvalitet og pålidelighed

- Programmerbar
- Analog/digitaludskrift
- Pen offset kompensering
- Kontaktløst digitalt servosystem
- DC indgang 0,1mV-200V, standardindgang for 12 forsk. termoelementer samt PT100 og PT50 følere
- IC memory kort (8kB/256kB)
- Matematiske funktioner
- GPIB/RS232C interface

Ring for pris og yderligere information

**new instruments**

Naverland 31 · DK-2600 Glostrup  
Telefax 42 45 07 86 · Telefon 42 45 18 22



Velkommen  
til KVANT

Vi byder på fødselsdagsgave til KVANTS læsere.

1 stk Computer Board 8 kanals A/D kort med 24 Digitale I/O fuld kompatibel med Metra Bytes DASH-8 og PIO kort. 2 i 1.

Pris til læsere af Kvant: kr 2.890,- excl moms.

Normalpris: kr 3.290,- excl moms.

Leverancen indeholder også Labtech Acquire, LABLOGII og driver routine til BASIC.

Indsend annoncen og få del i fødselsdagsrabatten.

ENGBERG PowerConsult sælger teknisk og videnskabelig software og hardware, som gør PC'en til et måleinstrument og en beregnings station.

Vi importerer direkte fra producenten og giver support på de produkter, vi påtager os at sælge.

På visse produkter findes undervisnings rabatter.

Labtech Notebook, Labtech Control, Tech\*Graph\*Pad, MathCad, Micro-MAC/RAN, Quality Analyst, Computer Board og Analog Devices.

**ENGBERG** *Power Consult*

Postbox 194 - DK-3400 Hillerød - Tlf. +45 42 25 17 77

# KVANT - et tidsskrift om fysik.

*Jørgen F. Bak, redaktør*

Dette nye blad har til hensigt at informere om nye og spændende emner fra fysikkens verden. Det vil desuden være medlemsblad for Dansk fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse, som står bag bladets udgivelse.

Artiklerne vil være skrevet af danske fysikere fra universiteterne og andre forsknings- og udviklingslaboratorier. Hvert nummer vil indeholde en længere artikel, samt en række kortere artikler og debatindlæg.

Specielt den lange artikel vil eventuelt kunne anvendes til undervisningen i gymnasiet.

Dette første nummer har en lidt speciel karakter, idet det udelukkende indeholder en række kortere artikler.

Udgivelsen af Kvant indebærer at Fysisk Tidsskrift, der udgives af Selskabet til Naturlærens Udbredelse, indstilles med udgangen af 1990, idet Kvant vil være en arvtager for dette blad. I det første år vil der være en parallel udgivelse, idet nuværende abonnenter af Fysisk Tidsskrift vil modtage Kvant, og forhåbentlig vil fortsætte med at tegne abonnement på bladet.

I løbet af firserne er der vokset et tæt samarbejde frem mellem universiteternes fysiske institutter og industriens udviklingslaboratorier. For tiden er der en kraftig tendens til at forskningen samles om store projekter, hvilket blandt andet giver sig udtryk i oprettelsen af en række landsdækkende centre, hvor der på tværs af institutter og erhvervsvirksomheder opbygges store forskningsgrupper indenfor bestemte emner.

Bladet vil være åbent for mere debatprægede indlæg, og der vil således også være plads til artikler og indlæg om forsknings- og uddannelsespolitik.

I disse år er uddannelserne på universiteterne ved at blive kraftigt revideret, blandt andet med indførelsen af den treårige bacheloruddannelse. Og der er generel bekymring for undervisningen i fysik i folkeskolen. Det er et par eksempler på emner der vil blive belyst.

Midtersiderne i bladet vil indeholde meddelelser og lignende fra Dansk fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse. Der vil også være anmeldelser af bøger og omtale af udstillinger og arrangementer, som kan være af interesse for bladets læsere.

Det er redaktionens håb at der vil blive skabt et blad, der vil være spændende og interessant for læserne, og som vil være med til at styrke kendskabet til fysik i bredeste forstand.

Bladets udgivelse er muliggjort af den økonomiske støtte, som vi, sammen med Selskabet for Naturlærens Udbredelse, har modtaget fra Thomas B. Thriges Fond, Augustinusfonden og Niels Bohr Legatet. Herved er der i en periode på 1-2 år skabt økonomisk sikkerhed for udgivelsen i det her præsenterede udstyr og omfang. Men ret snart må bladet kunne hvile i sig selv gennem indtægter fra abonnenter og annoncer.