

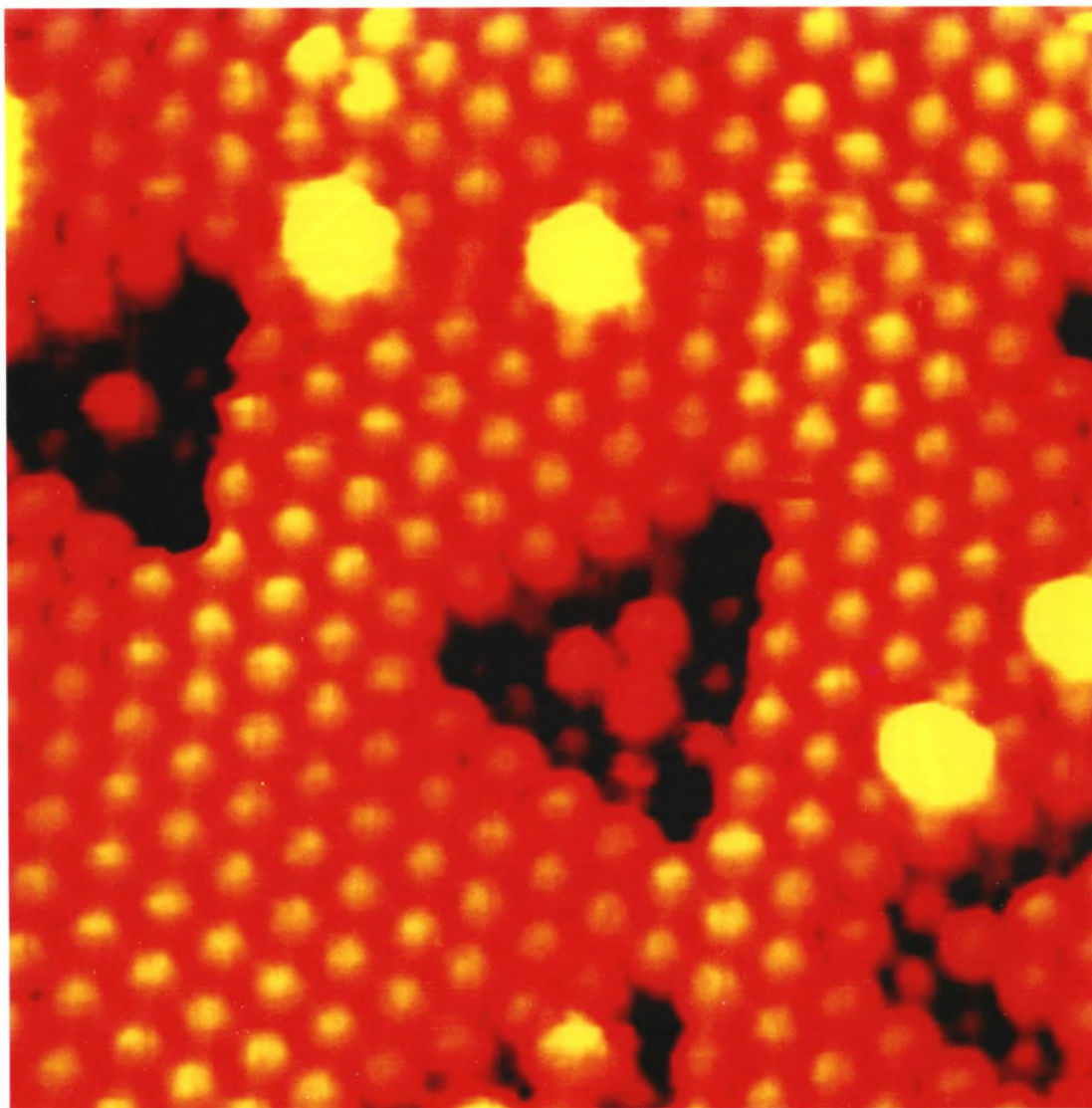
KVANT

Juni
1995

2

Fysisk Tidsskrift

6. årgang



- PRISVÆRDIG FYSIK • TUNNELMIKROSKOPET • RØNTGENSTRÅLER I 100 ÅR •
- NEWTON - IGEN • ANTIBRINT •

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Fysisk Tidsskrift

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

Telefax : 35 32 04 60
E-mail : kvant@nbivax.nbi.dk
Giro : 5 84 31 46

Udgives af

Dansk
Fysisk
Selskab



Selskabet for
Naturlærens
Udbredelse



Redaktion

Mads Hammerich (ansv.)
Rungsted Gymnasium
Jørgen Friis Bak
Naturvidenskabeligt fakultet, ÅU
Jørn Christiansen
Torsten Freltoft (annoncer)
NKT Research Centre
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut, KU
Finn Berg Rasmussen
Ørsted Laboratoriet, KU
Ove Østergaard
Silkeborg Amtsgymnasium

KVANT udkommer 4 gange årligt og er medlemsblad for de udgivende selskaber.
Abonnementspris: 135 kr/år (i Danmark).

Annoncepriser

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

Priserne er excl. moms og gælder for reproklart materiale. Henvendelser om annoncer til Torsten Freltoft, NKT Research Centre, telefon 43 48 35 69, telefax 43 63 00 99.

Oplag: 2000

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

Indhold:

Prisværdig overfladefysik med scanning tunneling mikroskopi

Flemming Besenbacher, Erik Lægsgaard og Ivan Stensgaard . . . 1
NKT's forskerpris for 1995 blev givet til forfatterne. Her beskriver de deres mikroskop - og nogle af de undersøgelser der kan udføres med det.

Opdagelsen af de Röntgenske stråler for 100 år siden

Asger Lindegaard-Andersen og Leif Gerward . . . 9
Fysik fra dengang en midaldrende universitetsrektor havde tid til at forske. Lindegaard-Andersen og Gerward fortæller fra tiden før Internettet, hvor der gik under en måned fra første foredrag til publicering i 'Nature'.

Hvordan beregnede Newton centripetalaccelerationen i månens bane ?

Tom Bøgeskov . . . 14
De fleste har hørt skrønen om Newtons indskydelse da han så et æble falde fra træet. Tom Bøgeskov stiler højere og diskuterer hvordan Newton egentlig analyserede Månens fald mod Jorden

Antibrint aflivet! - eller blot i venteposition?

Ove Nathan . . . 19
Fysik der (måske) kunne udføres. Ove Nathan gennemgår nogle af de centrale forudsigelser i partikelfysikken, der kunne efterprøves ved forsøg med antibrint. Baggrunden er, at CERN har besluttet at nedlægge lagringen hvor de kolde antiprotoner kunne gemmes.

Fysik i uddannelserne - Uddannelserne i fysik

Erik Both . . . 24
Invitation til konference i november.

Korrespondensprincippets... RETTELSE

Mads Hammerich . . . 24
En forkert figur. Her er den rigtige.

Meddelelser fra DFS

Peter Bodin . . . 25
Årsmøde, generalforsamling, sektionerne, kontingenter, regnskab

Crafoord-prisen til Willi Dansgaard.

. Bagsiden
Willi Dansgaard og Nicholas Shackleton modtager prisen for klimastudier i fortiden ved hjælp af iltisotopmålinger.

Forsiden:

Guld i nærbillede! Et enkeltatomart lag guld på en nikkeloverflade viser denne særprægede struktur. Mistilpasningen mellem nikkels og gulds kystalstruktur giver spændinger i laget. På billedet er spændingen udløst ved, at guldets begrave sig i nikkeloverfladen i trekantede mønstre. Nikkelatomerne skubbes ud af overfladen og samler sig i de små lyse øer ovenpå guldlaget. Artiklen side 1.

Prisværdig overfladefysik med scanning tunneling mikroskopi

Flemming Besenbacher, Erik Lægsgaard og Ivan Stensgaard

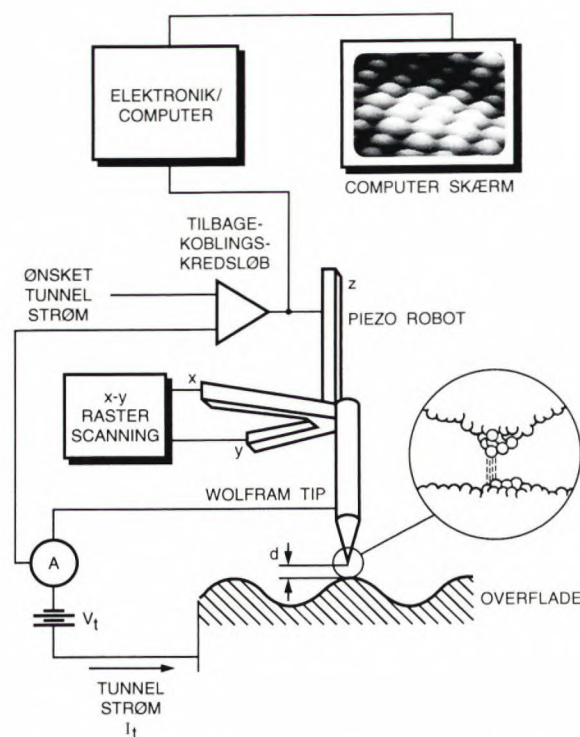
Center for Atomic-scale Materials Physics (CAMP) og Institut for Fysik og Astronomi (IFA), Aarhus Universitet

Overfladefysik - studiet af de yderste atomlag af et fast stof - har gennem de sidste tyve år været og er stadig en af de hurtigst voksende grene af fysikken. Der er mange grunde hertil. På den ene side er overfladen hjemsted for en lang række grundforskningsmæssigt interessante processer, der ikke har paralleller i det faste stof eller i gasfasen. Samtidig har mange af de grundvidenskabeligt interessante overfladefænomener stor betydning for forståelsen af teknologisk vigtige områder som f.eks. katalytiske reaktioner og tribologi (d.v.s. læren om friktion, adhæsion/vedhæftning, slid og smøring). Overfladefysik foregår traditionelt på enkeltkrystal-overflader og under et så ultra højt vacuum (UHV) at kun meget få luftmolekyler rammer overfladen i løbet af et eksperiment. Man kan derfor spørge hvorfor overfladefysik har relevans for de ovennævnte, vigtige teknologiske områder, hvor de normale forhold er højt tryk, komplicerede overflader og måske høj temperatur? En række studier har imidlertid vist, at velkontrollerede enkeltkrystal-overflader under rene, velkontrollerede UHV-forhold er gode modelsystemer for studiet af de elementære, industrielle processer. Heterogen katalyse f.eks. er bestemt af katalysatorens evne til at binde molekyler til overfladen (adsorption), bryde de molekylære bindinger (dissociation), stoffernes evne til at bevæge sig rundt på overfladen (diffusion) og til at reagere samt sandsynligheden for at reaktionsprodukterne forlader (desorberer) overfladen. På baggrund af en detaljeret mikroskopisk forståelse af disse delprocesser på modeloverflader har det vist sig muligt at forudsige f.eks. aktiviteten af en katalysator under industrielle forhold. Det er altså muligt at bygge bro mellem en grundvidenskabelig, detaljeret beskrivelse af givne overfladefysiske/kemiske processer på en atomar skala og forståelsen af industrielle, komplicerede reaktionsforhold.

Der er i de senere år sket et betydeligt forskningsmæssigt gennembrud i vor basale forståelse af overflader og overfladerelaterede processer. Dette skyldes ikke mindst udviklingen af Scanning Tunneling Mikroskopet (STM), som har gjort det muligt at studere strukturen af overflader med atomar opløsning, d.v.s. atom for atom. Et tilsyneladende uopnåeligt ønske om at kunne "se" de enkelte atomer på en plan enkeltkrystal-overflade under UHV-forhold er således blevet realiseret.

I 1986 påbegyndte vi, på universitetet i Århus, opbygningen af et scanning tunneling mikroskop (STM). Vores STM afviger fra andre tilsvarende instrumenter, derved at det er muligt at optage flere STM billeder i sekundet, i modsætning til andre tilsvarende mikroskoper, hvor en typisk scannetid er 0,5-1 min. Dette har

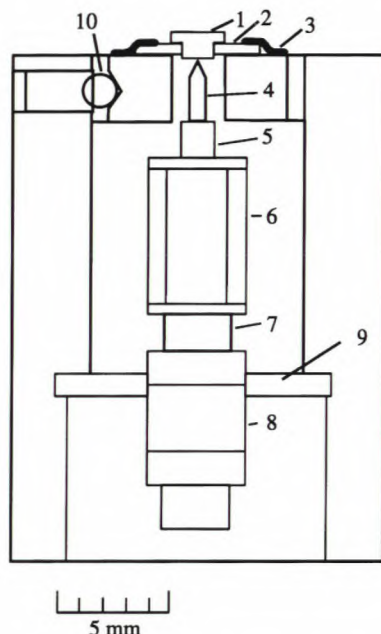
gjort det muligt ikke blot at studere den statiske struktur af overflader på en atomar skala, men samtidig få vigtig information om dynamiske processer på overflader. Endvidere er vort STM meget stabilt, hvilket har gjort det muligt rutinemæssigt at opnå atomar opløsning selv på de tætpakkede metaloverflader, hvilket generelt er vanskeligt med et konventionelt STM.



Figur 1. Principskitse af et STM. En tynd, spids metalnål er placeret på en "piezo-robot", der kan bevæge nålen i X-, Y- og Z-retningen med en opløsning på omkring 1 pm. Lægges en besked (0,1 - 2 V) spænding mellem nål og en elektrisk ledende overflade, vil der kunne trækkes en svag strøm i kredsløbet, når afstanden d bliver meget lille (≈ 0.5 nm). Ved hjælp af et tilbagekoblingskredsløb holdes afstanden d konstant, medens nålen scannes i et liniemønster hen over overfladen. Hermed kan prøvens topografi bestemmes helt ned på det atomare niveau.

Princippet bag et STM

Et scanning tunneling mikroskop (figur 1) er baseret på den kvantemekaniske effekt kaldet tunneling, der tillader elektroner at passere, *tunnelere*, gennem tynde isolerende områder der ifølge klassisk ellære ikke ville



Figur 2. Vores STM. 1) Prøve, 2) Prøveholder, 3) Fjeder, 4) Wolfram-nål, 5) Nålholder, 6) Scannerrør, 7) Aksel, 8) Piezo-motor, 9) Fastgørelse og 10) Kvartskugle. Læg mærke til de små dimensioner. Billedet til højre viser et fotografi af instrumentet.

lede strømmen.

En tynd, spids metalnål (wolfram), der er pålagt en spænding V_t på 0,1 - 2 Volt i forhold til en ledende overflade, er placeret tæt ved denne, men uden metallisk kontakt. Ifølge den klassiske fysiks love vil man ikke forvente at registrere nogen strøm på det viste amperemeter, idet elektroner ikke kan passere energibarrieren (vakuumgabet), der eksisterer mellem nålen og overfladen. Hvis imidlertid afstanden d mellem nålen og overfladen bliver meget lille (≈ 0.5 nm), vil nålens og overfladens elektronfordelinger begynde at overlape, og der er en vis sandsynlighed for, at elektroner kan trænge gennem energibarrieren (tunnelere) og give anledning til en lille strøm $I_t \approx 1$ nA.

Nålen forskydes (scannes) nu hen over overfladen som elektronstrålen i et TV-kamera. Scanningen foretages med piezo-elektriske elementer, der har den egenskab, at de ændrer form, når de pålægges et elektrisk felt; de kan blive længere og tyndere eller kortere og tykkere. Under nålens afsøgning af overfladen vil tunnelstrømmen I_t øges (mindskes), når nålens afstand til overfladen aftager (vokser).

Nu er overfladen måske uregelmæssig eller en smule skrå i forhold til den retning man bevæger nålen i. Nålen ville derfor i praksis hurtigt miste kontakten eller ramme overfladen. Derfor holder man i ethvert STM I_t konstant ved hjælp af et tilbagekoblingskredsløb, der hele tiden regulerer spændingen på z-piezo-elementet og dermed nålens højde over overfladen. Ved at registrere spændingen på z-piezo-elementet under scanningen får man derfor information om overfladens topografi, eller rettere elektronfordelingen i overfladen.

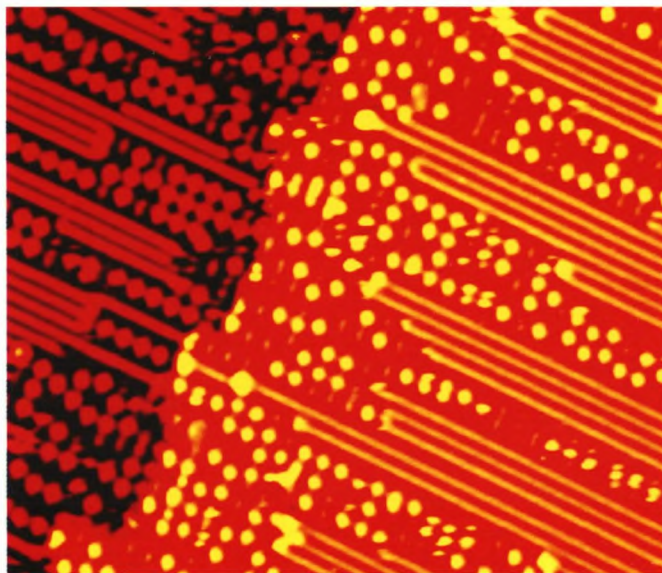
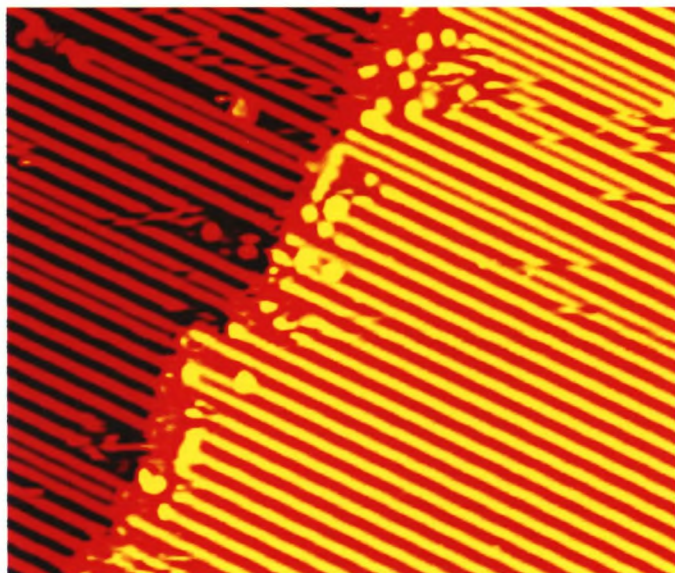
Man kan med rette spørge om, hvorledes det er muligt at se enkelte atomer, idet dette kræver, at spidsen af nålen ikke er meget større end et enkelt atom (tænk på et STM som en "atomar gramfon"). Her hjælper naturlovene os, idet det viser sig, at tunnelstrømmen er yderst følsom overfor ændringer i afstanden. Tunnelstrømmen kan skrives:

$$I_t \propto V_t \cdot \exp(-A \cdot d \cdot \sqrt{\phi}) \quad (1)$$

hvor A er en konstant, d er afstanden mellem nål og overflade og ϕ er middelhøjden af potentialbarrieren mellem nål og overflade (typisk nogle få eV). Den eksponentielle afhængighed er så kraftig, at hvis d ændres med 0.1 nm giver det anledning til en strømændring på en faktor 10. Dette bevirker, at hvis der på en makroskopisk spids nål er et atom, der "stikker" 0.1 nm længere frem end de øvrige, vil dette ene atom bære 90% af tunnelstrømmen.

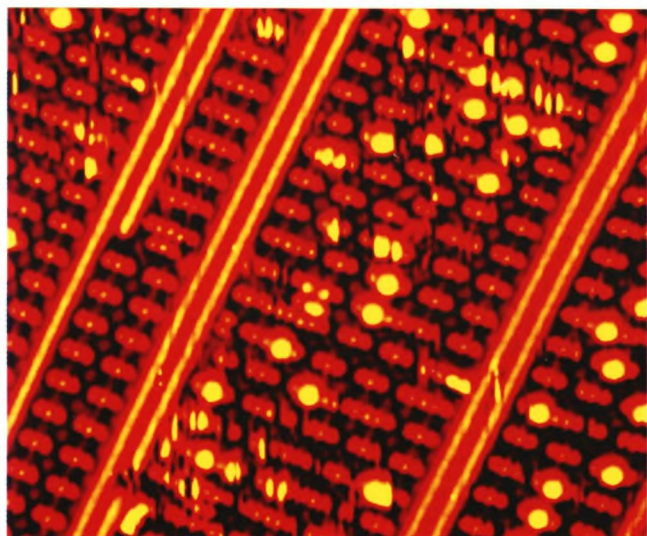
Selv om princippet bag et STM således er forbløffende simpelt, så er et af hovedproblemerne i konstruktionen, at man skal stabilisere afstanden mellem nålen og overfladen på en sub-Ångstrøm skala ved hjælp af konstruktionselementer, der måske er af størrelsesordenen centimeter. Dette span på mere end otte størrelsesordener bevirker, at konstruktionen ofte kan være meget følsom over for mekaniske rystelser og termisk drift.

Det af os udviklede STM er vist i figur 2. De små dimensioner minimerer behovet for ydre dæmpning for indflydelsen af støj fra vibrationer i laboratoriet. Piezobotten består af et kompakt scannerrør (6). Ved hjælp af elektriske spændinger kan scannerrøret bevæges nogle få mikrometer i X- og Y-retningerne, mens det kan flyttes knapt en mikrometer i Z-retningen. Det er meget



Figur 3. En kemisk reaktion på en sølvoverflade observeret med atomar opløsning. På billedet til venstre ses rækker bestående af sølv- og iltatomer næsten vinkelret på et atomart step. Efter reaktion med kuldioxid er der dannet karbonat-ioner (de lyse punkter på billedet til højre). Reaktionen starter ved stepkanten og breder sig i begge retninger. Samtidig er de resterende sølv-ilt-rækker presset sammen. Begge billeder er $25 \times 25 \text{ nm}^2$.

ubekvem at skulle montere en prøve indenfor en så lille tolerance, så vi har monteret scannerrøret på en aksel (7), der glider i tætpassende lejer i en piezo-motor (8). Piezo motoren giver en lineær bevægelse i skridt på ned til 0.2 nm med en hastighed på op til 1 mm/min



Figur 4. Samme overflade som vist på figur 3, men med større forstørrelse ($15 \times 15 \text{ nm}^2$) og færre karbonat-ioner. Den nye struktur domineres af triplets, hvor karbonat-ionerne sidder over det centrale atom.

Det kompakte design, den symmetriske opbygning og den tætte mekaniske kobling mellem prøven og mikroskophuset mindsker indflydelsen fra ydre vibrationer og termiske påvirkninger. Ligeledes sørger dette design for at de mekaniske resonanser i systemet ligger på meget

høje frekvenser. Dette, sammen med fuldstændig computerkontrol, gør, at vi er i stand til at optage billeder i så hurtig rækkefølge, at vi kan visualisere overfladereaktioner ved STM-film. Disse film kan så senere studeres i detalje.

Kemiske reaktioner på overflader

Kemiske reaktioner på faste stoffers overflade spiller en meget vigtig rolle i det moderne samfund. Drivmidler, kemikalier og gødning fremstilles alle ved katalyse, ligesom løsningen af fremtidens miljø- og energiproblemer i stor grad vil afhænge af nye og bedre katalysatorer.

Indtil nu er der foretaget et ret lille antal undersøgelser af specifikke overfladereaktioner med STM. STM-billederne af adsorption af kemisk vigtige atomer, såsom brint, kul, ilt og svovl har haft stor indflydelse på den måde, overfladen bliver opfattet på. Førhen har man betragtet overfladen som en slags perfekt, statisk "skakbræt", på hvilket atomer kunne sætte sig, kombinere og desorbere. Resultaterne fra STM har vist, at overfladen derimod skal opfattes som et langt mere dynamisk medium, der hele tiden ændrer sin lokale atomare struktur som respons på tilstedeværelsen af reaktanterne på overfladen. Det betyder, at der er en kraftig kobling mellem bindingen af gasatomer til overfladen og en ændring af overfladens struktur. Metal-metal-bindinger brydes og nye metal-gas-bindinger dannes. Dette betyder imidlertid også, at overfladens detaljerede, geometriske struktur har stor betydning for forståelsen af reaktioner på overflader.

Ethylenoxid ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$) er et vigtigt mellemled i produktion af ethylenglycol, der anvendes til polyester, kølervæske, m.m.. Ethylenoxid dannes ved en katalytisk reaktion mellem ethylen (C_2H_4) og ilt. Katalysatoren

består af sølvpartikler spredt på en såkaldt bærer. Som et biprodukt ved reaktionen dannes der kuldioxid, hvis tilstedeværelse på overfladen påvirker både aktiviteten og selektiviteten i processen. Det er derfor af stor interesse at forstå vekselvirkningen mellem kuldioxid og ilt på en sølvoverflade. Vi har studeret denne reaktion med STM. Figur 3(a) viser et område af en Ag(110) krystal med et atomart step, der skiller to terrasser. De lyse områder ligger højest og de mørke lavest. Næsten vinkelret på steppet, langs (001) retningen, ses rækker, der består af sølv og ilt. Disse rækker er dannet ved en reaktion mellem ilt fra gasfasen og sølvoverfladen på en måde, der er meget analog til dannelsen af tilsvarende rækker på Cu(110) og Ni(110). (Se eventuelt KVANT nr. 1, februar 1991). Eksponeres denne overflade nu til CO₂, sker der følgende (figur 3(b)): En reaktion, i hvilken der dannes karbonat (CO₃), starter ved steppet og udbreder sig i begge retninger langs rækkerne, der samtidig komprimeres. (Karbonat-ionerne ses som lyse kugler.) Vi kan heraf slutte, at iltatomerne i enden af Ag-O-rækkerne til enhver tid er de mest aktive reaktionspladser. Ved at tælle atomer kan støkiometrien i reaktionen endvidere fastlægges.

Overfladens dynamiske karakter afspejles i endnu en omstrukturering i forbindelse med karbonatdannelsen. Det fremgår af figur 4, der er optaget over et 15×15 nm² område med relativt få karbonat-ioner, at den nye struktur er domineret af triplets, hvor karbonat-ionen sidder over det centrale atom. Ved stuetemperatur "hopper" karbonat-ionerne rundt på overfladen - derfor er der afbildet halve og kvarte ioner.

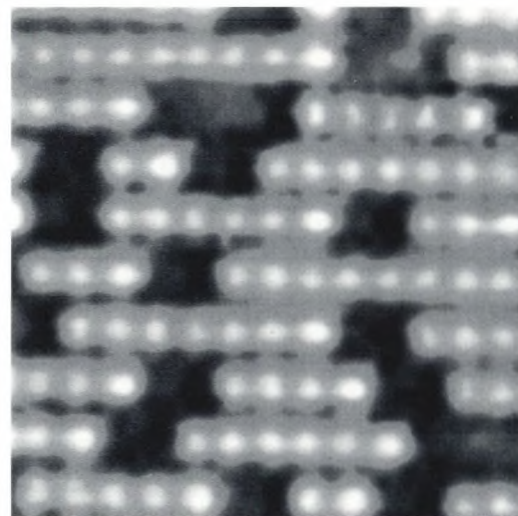
Vi kan altså nu studere overfladereaktioner på atomart niveau, men det ultimative mål er naturligvis at kunne følge reaktionerne in situ under mere realistiske reaktionsbetingelser (højt tryk og temperatur). Hertil kræves en nyudvikling af mikroskopet, som vi håber at gennemføre i de kommende år.

Syntese af nye overfladelegeringer

I vores grundforskningscenter CAMP er forskningen koncentreret om den grundlæggende forståelse af materials egenskaber samt syntese og manipulation af materialer på en atomar skala. Som et eksempel på det sidste har vi i CAMP fundet en helt ny type todimensionale (2D)-legeringer, *overfladelegeringer*. Det er velkendt, at en række metaller danner stabile legeringer med hinanden, mens andre metaller ikke er blandbare. Det overraskende er, at selv for den sidste gruppe af ikke-blandbare metaller, kan der dannes overfladelegeringer, og denne 2D-fase har ingen 3D-analogi i det faste stof.

Guld og nikkel er eksempler på ikke-blandbare metaller, idet opløseligheden af Au i Ni ved stuetemperatur er utrolig lille, ligesom Au har en væsentlig lavere overfladeenergi end Ni. Fra alle tidligere teorier for metal-på-metal-vækst ville man derfor have forventet, at guldet groede i krystaller oven på nikkel overfladen. Imidlertid har vore STM-studier vist, at hvis

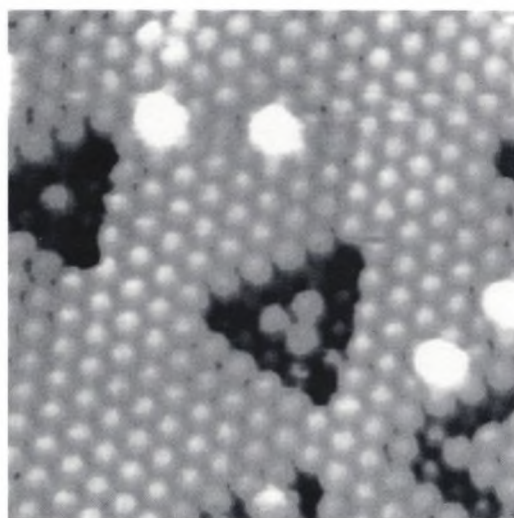
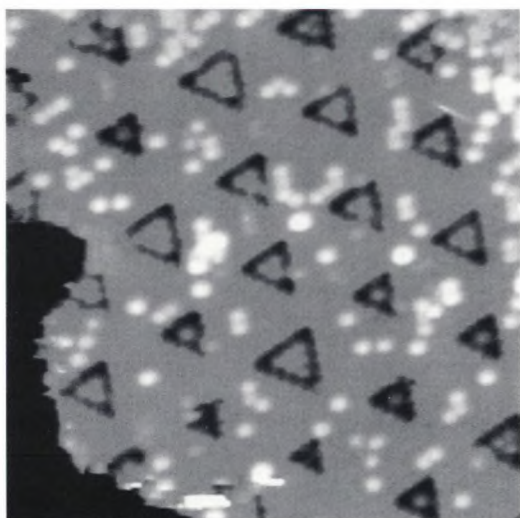
Au fordampes på en nikkeloverflade der er skåret så overfladetætheden af nikkelatomer bliver så lille som mulig ((110)-overfladen), diffunderer Au-atomerne langs de tætpakkede Ni-rækker, indtil Au-atomerne et givet sted skubber Ni-atomerne ud og sætter sig på Ni-atomernes positioner (se figur 5). De Ni-atomer, der er skubbet ud af overfladen, samler sig i Ni-øer på overfladen, og vi kan vise, at der er en 1:1 sammenhæng mellem antallet af Au-atomer i overfladen og arealet af Ni-øerne. Også på Ni(111)-overfladen blandes Au og Ni under dannelse af en overfladelegering, men da (111) er tættere pakket end (110)-overfladen, kræver det mere energi at bryde Ni-bindingerne på (111)-overfladen, hvorfor legeringsdannelsen på Ni(111)-overfladen først sker ved 250°C.



Figur 5. En (110) nikkeloverflade med 0,25 monolag pådampet guld. Nikkel og guld legerer normalt ikke, men på denne overflade erstatter guldatomer enkelte nikkelatomer i det første lag (overfladelegering). Guldatomerne ses som mørke huller på overfladen, der har en størrelse på 3,5×3,5 nm².

Inden for CAMP har vi vist, at den overraskende overfladelegeringsfase er et resultat af mange-legemets naturen af de interatomare vekselvirkninger i metalliske systemer. Nikkelatomerne i overfladen har færre naboer end Ni-atomerne inden i det faste stof, d.v.s. at overfladeatomerne er underkoordinerede. Guldatomerne er større og har større elektrontæthed end Ni-atomerne, og Au-atomerne hjælper Ni-atomerne med at blive mindre underkoordinerede. Fra samspillet mellem eksperiment og teori er der udviklet en model, der endvidere kan forudsige, hvilke metaller, der danner overfladelegeringer, og hvilke, der ikke gør det.

Med opdagelsen af *overfladelegeringer* er der åbnet for muligheden for at designe overfladestrukturer med egenskaber, som ikke kan etableres i 3D-fasen af det faste stof, og som ikke afhænger af temperaturen og omgivelsernes kemiske sammensætning. Dette er muligt, fordi den andel metal, der er tilsat overfladen, ikke kan forsvinde ved at diffundere ind i værtsmetallet. Denne form for overfladestrukturer kan have stor betydning for adhæsionen



Figur 6. En (111) nikkeloverflade ((a) $12 \times 12 \text{ nm}^2$ og (b) $4.5 \times 4.5 \text{ nm}^2$) med et enkelt lag pådampet guld. Her lægger guldatomerne sig på overfladen, men på grund af guldets større gitterkonstant opstår der så store spændinger, at det underliggende nikkellag visse steder ændres ved, at enkelte atomer frigøres. Her kan guldatomerne så synke ned, og de tre mørke trekanter viser dette. I trekanterne ses 1, 3 og 6 guldatomer. De lyse pletter er nikkelatomer, og tæller man op, er der netop det antal, man forventer fra antallet og størrelser af trekanterne.

af et materiale til et andet. En anden åbenlys anvendelse af overfladelegeringerne er i forbindelse med modifikation af den kemiske aktivitet af en overflade. Der åbnes herved muligheder for på molekylært niveau at designe katalysatorer med forbedret reaktivitet og selektivitet. Disse spændende muligheder undersøges for øjeblikket inden for "Center for Overfladereaktioner" i samarbejde med overfladefysikgruppen på DTU og Haldor Topsøe A/S.

Studier af grænsefladen mellem to metaller

Strukturen af grænsefladen mellem et pådampet metal-lag og en metaloverflade har stor betydning for adhæsionen mellem de to metaller og dermed de mekaniske/tribologiske egenskaber af det kombinerede system. Vi har for nylig vist, hvorledes det også er muligt at studere strukturen af denne grænseflade på en atomar skala.

Betrages igen guld-nikkel-systemet, og fordampes et enkeltatomart lag Au på Ni(111)-overfladen ved stuetemperatur, observeres en regelmæssig trekantstruktur i Au-overlaget (se figur 6a). I større forstørrelse (figur 6b) ses det, at trekantområderne omslutter 1, 3, 6, .. Au-klynger, men man ser også Au-atomer i trekantgrøfterne. Løsningen på denne struktur blev fundet gennem et samspil mellem eksperiment og teori inden for CAMP. Da guld har en 16% større gitterkonstant end nikkel, er der en fejltilpasning mellem Au-gitteret og det underliggende Ni-gitter. Dette resulterer i en stor spænding i Au-Ni-grænsefladen, og denne spænding udløses ved dannelse af dislokationer, d.v.s. områder, hvor der er store ændringer i de interatomare afstande, og som adskiller

områder med mere normale gitterafstande. I det konkrete tilfælde udløses spændingen ved, at en række Ni-atomer skubbes ud af Ni(111)-overfladen. Ni-laget rearrangerer sig efterfølgende ved dannelsen af trekantområder. Strukturen af Au-laget afspejler således den underliggende struktur af grænsefladen, idet Au-atomerne synker længere ned langs de mere åbne trekantlinier. Nikkelatomerne, der er skubbet ud, ses som de "lyse" atomer i Au-laget, som de er inkorporeret i.

Nanotribologi

Når to materialer kommer i kontakt med hinanden sker det ikke over hele overfladen på en gang. Den ruhed, som enhver overflade har, gør, at de mest fremspringende dele danner en række små kontakter. Det er disse kontacters egenskaber, der bestemmer f.eks. adhæsionen, friktionen og det slid, som de to materialer udøver på hinanden, når de gnides mod hinanden. Vi har udviklet en eksperimentel metode, der gør det muligt, mellem to materialer, at danne kontakter, der kun er få atomer i diameter. Kontakterne dannes ved på velkontrolleret vis at bevæge STM-nålen mod en enkrystal-overflade. Ved en afstand på $\sim 0.2 \text{ nm}$ bliver de tiltrækkende adhæsive kræfter mellem nålen og overfladen så store, at nålen springer til punktkontakt med overfladen. Når nålen igen trækkes bort fra overfladen trækkes stoffet ud til en tråd. Efterhånden bliver kontakten eller nanotråden tyndere og tyndere for til sidst at knække. Nanotrådene har en diameter på $\sim 0.3\text{--}1 \text{ nm}$ og en længde på $\sim 1\text{--}2 \text{ nm}$. Når kontakten er dannet, kan trådens egenskaber studeres i stor detalje. Vi har fundet (se figur 7), at den elektriske ledningsevne i nanotråden er kvantiseret i enheder af $2e^2/h = 77.5 \mu\text{Siemens}$

Complete Optical Answers



Optics is providing the answers for many of today's new technologies and applications. Melles Griot's Application Engineers are trained to help you find those answers with our versatile range of optical tools. Answers that translate into working, valuable, real-life products.

Our carefully specified range of optical components — lasers, opto-mechanical hardware, and instrumentation; plus our complete line of optical tables, breadboards, and workstations — are all designed

to work together, with metric and inch systems equally supported.

All components are integrated into a versatile family of optics and support equipment designed with your requirements in mind.

From small-scale, non-linear devices to high performance imaging systems, from the infrared to the near UV, our products provide the reliable quality and dependable performance that you can rely on.

For the OEM we provide large volumes of custom components and sub-systems optimized for your specific needs — with major North American, Asian and European optical fabrication and coating facilities for worldwide support.

Warehouses around the world provide prompt shipment of our standard products and our toll free telephone makes us easy to reach. Just part of the reason why Melles Griot should be your source for complete optical answers.

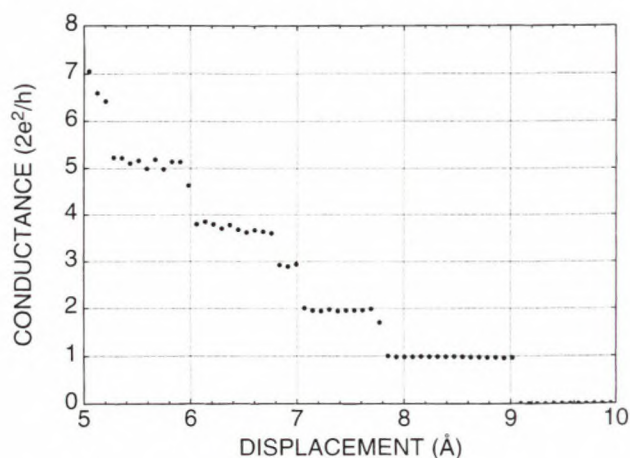
MELLES GRIOT

OPTICS • LASERS • RESEARCH EQUIPMENT

MELLES GRIOT DANMARK
Stenagervej 13
DK-4100 RINGSTED

Phone +45 53 61 50 49
Fax. +45 53 61 60 49

$= (12,9 \text{ k}\Omega)^{-1}$. Den teoretiske analyse af eksperimenterne har vist, at mens elektronerne frit kan bevæge sig langs nanotråden, så er den vinkelrette elektronbevægelse i nanotråden kvantiseret, hvilket resulterer i den målte, kvantiserede ledningsevne.



Figur 7. Kvantisering af den elektriske ledningsevne i en tynd tråd. Det ses, at der er tydelige foretrukne ledningsevner i enheder af $2e^2/h$, efterhånden som tråden trækkes længere og dermed tyndere, indtil tråden knækker ved ca. 0.9 nm.

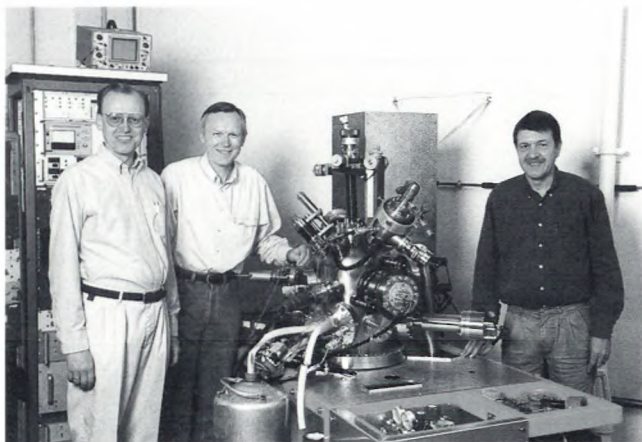
Ud over den fundamentale interesse, der ligger i at studere den elektriske ledningsevne i sådanne nanostrukturer, har vi med disse studier vist, at vi nu kan danne rimeligt velkontrollerede punktkontakter mellem to metaller, hvilket betyder, at vi kan begynde at studere tribologi på en atomar skala. Det, der mangler, er metoder til at studere kræfterne mellem de to materialer, der bringes i kontakt, hvilket vi for øjeblikket er ved at udvikle. Tribologi er, som nævnt tidligere, læren om adhæsion, friktion, slid og smøring, og mens disse fænomener årligt koster industrien milliarder af kroner, er der p.t. ingen detaljeret mikroskopisk forståelse for de grundlæggende mekanismer bag disse fænomener. Det er håbet i CAMP og i "Center for Nanotribologi" gennem et koordineret eksperimentelt og teoretisk studie at forstå, hvad der på det atomare niveau bestemmer materialers vedhæftning, friktionskræfterne mellem dem, og hvorledes disse påvirkes ved at adsorbere forskellige atomer og molekyler på overfladen, d.v.s. indflydelsen af "smøremidler". Vi har ved opbygningen af vores mikroskop og tilhørende vakuumudstyr profiteret af den fantastisk gode tekniske infrastruktur, der eksisterer på Institut for Fysik og Astronomi i Århus. I forbindelse med tildelingen af NKT-prisen skal der lyde en stor tak til de

mange teknikere og ingeniører fra IFA, der gennem årene har hjulpet os på forskellig vis. Dette forskningsprojekt er også et godt eksempel på, hvorledes private fonde hurtigt og målrettet var parate til at hjælpe til med ekstern finansieringsstøtte, idet vi i 1987 hurtigt blev hjulpet i gang med støtte fra Knud Højgaards fond og Aarhus Universitets Forskningsfond. Forskningsprojektet blev efterfølgende konsolideret gennem deltagelse i et centre under MUP1-programmet, "Center for Overfladereaktioner", hvor vi havde et yderst frugtbart og stimulerende samarbejde med overfladefysikgrupperne på DTU og RISØ samt forskningsafdelingen fra Haldor Topsøe A/S. Dette samarbejde er senere fortsat i et MUP2-center, ligesom vi i MUP2-regi har fået bevilget endnu et center, "Center for Nanotribologi". I dette center har vi et samarbejde med Danmarks Teknologiske Institut i Århus (Tribologicerteret Århus) og derigennem med Danfoss, Grundfos og NKT. Sidst, men ikke mindst, har vores forskning fået endnu et løft, da vi i samarbejde med teorigruppen på DTU fik bevilget grundforskningscenteret, CAMP, under Danmarks Grundforskningsfond. Det har endelig været en stor glæde at se vor STM-prototype blive kommercialiseret af firmaet DME A/S i Herlev, der i dag sælger mikroskopet over hele verden.



Figur 8. Billede af en guldbelagt nikkeloverflade, hvorpå der er skrevet bogstaverne CAMP. Strukturene er skabt ved at presse nålespiden på et Scanning Tunneling Mikroskop 2 nm ind i overfladen i udvalgte punkter. Billedstørrelsen er ca. $100 \times 50 \text{ nm}^2$. Opgave: Hvor mange sider (60 linier á 80 karakterer) kan man skrive på en frimærkestor overflade med denne teknik? (Red.)

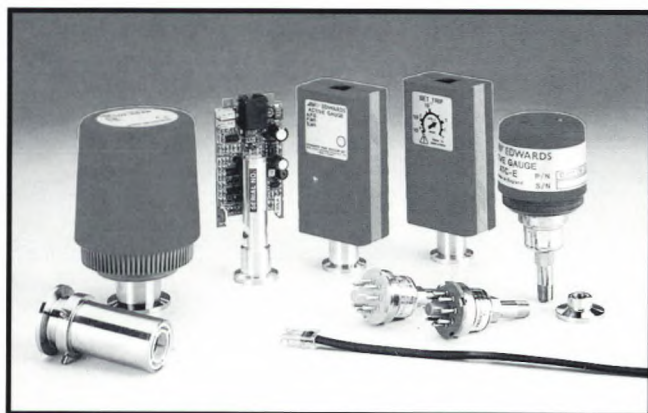
NKT's forskerpris 1995 tildeles for scanning tunneling mikroskopi.



NKT's forskerpris for 1995 blev i år givet indenfor fysik. På billedet ses Fleming Besenbacher, Ivan Stensgaard og Erik Lægsgaard, der fik prisen for udvikling af- og arbejdet med - et meget stabilt scanning tunneling mikroskop (STM). Priskomiteen skriver i sin begrundelse:

Opfindelsen af scanning tunneling mikroskopet i 1981-82 førte til, at Nobelprisen i 1986 blev tildelt dets opfindere, Binnig og Rohrer. STM er et nyt eksperimentelt værktøj, som revolutionerer overfladefysik og materialevidenskab. Med et STM kan de enkelte atomer i overfladen på et materiale afbildes, og processer i de øverste overfladelag kan følges direkte. Det giver helt nye muligheder for en grundlæggende, mikroskopisk forståelse af fx vækstfænomener og kemiske reaktioner på overflader. Over hele verden er der massive bestræbelser for at udnytte og udvikle denne opfindelse.

Besenbacher, Lægsgaard og Stensgaard har bidraget på en afgørende måde til at placere dansk fysik på den internationale scene, ikke kun gennem deres opfindsomme bidrag til videreudviklingen af STM som et eksperimentelt værktøj, men også gennem deres enestående og originale anvendelser af dette værktøj til studiet af centrale problemer inden for overfladefysik og materialevidenskab. Gruppen udmærker sig ved at kombinere en række elementer på en fremragende måde:



Active gauges er et nyt koncept til vakuummåling. Målehovedet indeholder hele elektronikken til måleudstyret og kræver derfor kun en standard DC strømforsyning. Udgangssignalet er 0 - 10V DC. Udlæsningen kan foregå på et almindeligt måleinstrument, PLC eller på en computer. Derved er der bedre mulighed for dokumentation ved f.eks. produktionskontrol. Fordelen ved denne konstruktion er bl.a., at man ikke behøver at have målehoved og måleudstyr i nærheden af hinanden. Kabler kan leveres i længder på op til 100 meter.

Pris pr. målehoved fra kr. **2.540,-** ex. moms

EDWARDS

Rotationsvakuumpumpe type RV er en ny oliepumpe, som både er en et- og to-trins pumpe, da der er mulighed for med en drejeknap at øge luftgennemstrømningen. Denne mulighed er der ingen andre vakuumpumper på markedet der har. Pumpen leveres i 4 størrelser 3,7 - 5,8 - 9,7 - 14,2 m³/h.

Edwards RV pumper er velegnet som kemipumpe til f.eks. geltørring, centrifugering og frysetørring. Er også velegnet til rene systemer, hvor der kræves lavt sluttryk. I laboratoriet vil man også påskønne det meget lave støjniveau på kun 48 dBA.



Buch & Holm A/S

Marielundvej 36 - 2730 Herlev ☎ 42 91 75 11 Fax 44 92 31 00

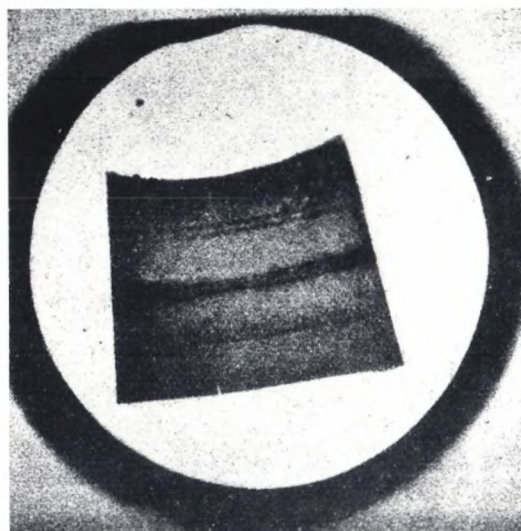
Opdagelsen af de Röntgenske stråler for 100 år siden.

Asger Lindegaard-Andersen og Leif Gerward
Fysisk Institut, DTU

Om aftenen den 8. november 1895 skete der i et fysiklaboratorium på Universitetet i Würzburg i Bayern noget som hurtigt blev en verdenssensation. Den 50-årige professor Wilhelm Conrad Röntgen var som mange andre af datidens videnskabsmænd i gang med at undersøge den højspændte elektriske udladning fra et Hittorf-Crookes-rør. I hovedsagen er det en glasbeholder af en eller anden form, hvor der på to steder langt fra hinanden er indsmeltet en platintråd. Fra katoden udgår stråler, de såkaldte katodestråler, som ved at træffe glasset, bringer dette til at fluorescere med en af glassorten afhængig farve, ofte grønt. Ved et tilfælde konstaterede Röntgen, at en fluorescerende skærm (en papskive belagt med bariumplatincyanoide), placeret på nogen afstand fra katodestrålerøret, lyste op i takt med de elektriske udladninger. Fluorescensen var des mere bemærkelsesværdig, idet Röntgen i forvejen havde indkapslet røret fuldstændigt i sort karton. Röntgen fandt, at han måtte have med stråler at gøre: fra det Crookeske rørs lysende, fluorescerende del udgik usynlige stråler, som formåede at trænge igennem luft, hvilket ikke var så mærkeligt, og pap, hvad der var mere interessant. På øjet virkede disse stråler ikke, men de fremkaldte fluorescens, og fluorescenslyset virkede på øjet. Med anvendelse af den fluorescerende skærm som detektor fandt Röntgen, at den usynlige stråling kunne trænge igennem andre ugenomsigtige objekter end pap. Ved at gennemlyse sin hånd så Röntgen med forbauselse knoglerne og omridset af hånden aftegne sig på skærmen. Röntgen fandt snart, at X-strålerne, som han kaldte dem, kunne eksponere en fotografisk emulsion lige som det synlige lys. Det var en betydningsfuld opdagelse, fordi Röntgen nu kunne dokumentere sine iagttagelser på film i stedet for at være afhængig af det subjektive skøn af lyset fra den fluorescerende skærm.

Röntgens opdagelse besatte ham i den grad, at han i de følgende seks uger gennemførte en hektisk og bemærkelsesværdig grundig undersøgelse¹ af røntgenstrålernes egenskaber. Han påviste, at ved passage gennem stof svækkes strålingsintensiteten i en grad, der afhænger af materialets tykkelse og densitet, og han målte den ækvivalente tykkelse af forskellige materialer; han observerede udsendelsen af sekundærstråling fra bestrålede prøver; han konstaterede, at røntgenstrålerne udbreder sig retliniet og uden afbøjning i linser og prisme, og han skønnede, at brydningsforholdets afvigelse fra én er mindre end 0,05; han optog en del radiografier, bl.a. et, som viser inhomogeniteter i et metalstykke (Figur 1). Den 22. december 1895 optog han det første anatomiske røntgenradiografi af sin kones hånd. Forsøgsopstillingen er vist på

Figur 2. Röntgens anden afhandling² om røntgenstrålerne omhandler strålingens ioniserende virkning. Katodestrålerørets konstruktion var nu også blevet forbedret med en antikatode (anode) af metal (først platin, senere wolfram) og en fokuserende aluminiumkatode.

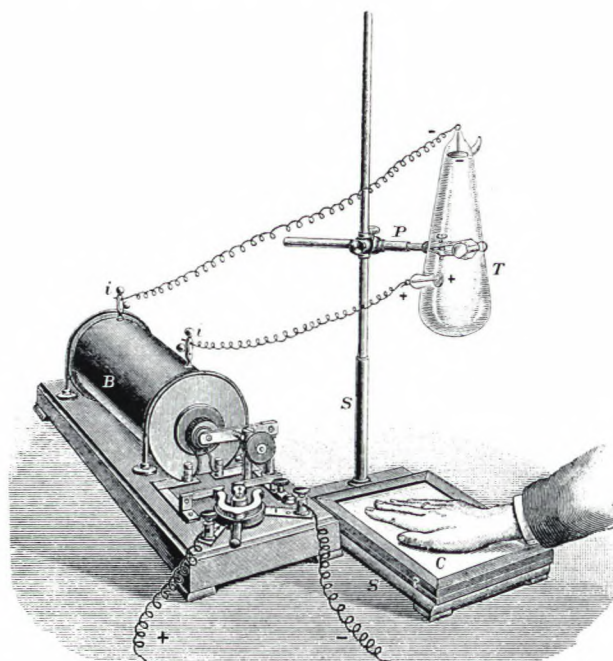


Figur 1. Radiografi af et metalstykke, der indeholder inhomogeniteter. Billedet er det første eksempel på ikke-destruktiv prøvning med anvendelse af røntgenstråling.

Efter yderligere et års arbejde fremlagde Röntgen en tredje afhandling³, hvori han bl.a. beskriver forøgelsen af strålingens "hårdhed" ved passage gennem stof. Han var tæt på at opdage røntgendiffraction, da han målte røntgenstrålingens transmission gennem enkrystaller i forskellige krystallografiske retninger. Men det skulle være til 1912, inden Max von Laue og hans medarbejdere Walter Friedrich og Paul Knipping⁴ ved diffraction i krystaller kunne påvise dels krystallernes periodiske struktur, dels røntgenstrålingens natur som elektromagnetisk stråling.

Röntgens artikler er interessant læsning, og de er desuden velformulerede i et klart og tydeligt sprog. I sit videnskabelige arbejde opnåede Röntgen en usædvanlig præcision kombineret med en lige så usædvanlig koncentration og forenkling. Han foretrak at fremlægge sine resultater uden noget større matematisk formelapparat, men det var ikke ensbetydende med en nedvurdering af de teoretiske metoder. (Det er også sådan jeg gerne vil have det. *Red.*) Tværtimod understregede han tit for sine elever de tre efter hans mening vigtigste forudsætningsfag for et fremgangsrigt fysikstudium: matematik, matematik og atter matematik! Som fysiker har man meget at lære af Röntgen. Han var en dygtig eksperimentator, som selv

konstruerede de fleste af sine forsøgsopstillinger, og han var god til at stille de afgørende spørgsmål. Han gennemførte sine eksperimenter med pinlig nøjagtighed, og han bestræbte sig for at fjerne enhver tænkelig fejkilde i sine målemetoder. Det videnskabelige arbejde opfattede han som en kamp med Naturen, der med alle midler forsvarede sine hemmeligheder. Sine opgaver som universitetslærer og institutleder udførte han samvittighedsfuldt, hvorfor forskningsarbejdet ofte måtte fuldføres uden for normal arbejdstid. "Man kann nicht immer Kaviar essen!" fortalte han sine unge assistenter, som drømte om rene forskerstillinger. Sin store opdagelse gjorde Röntgen lige efter, at han i nogen tid havde været universitetets rektor.



Figur 2. Fotografering ved de Röntgenske Stråler⁶.

Man møder ofte den påstand, at information spredes så meget hurtigere nu end før, på grund af de tekniske hjælpemidler, der i dag er til rådighed inden for kommunikation og nyhedsformidling, men det er en myte! Nyheden om Röntgens opdagelse blev kendt over hele verden med en mageløs hastighed, selv om man den gang hverken havde e-mail eller telefax. Den store forskel mellem nu og da er heller ikke informationens hastighed, men antallet af personer, der er involveret i det videnskabelige arbejde. Röntgen afleverede sit første manuskript om røntgenstrålingen den 28. december 1895 til et medicinsk tidsskrift i Würzburg, og det gik straks i trykken. De allerførste dage i januar 1896 sendte Röntgen nogle særtryk, suppleret med et par af sine røntgenfotografier, til kolleger i Tyskland og i udlandet, herunder til den engelske professor Arthur Schuster i Manchester. Schuster modtog brevet, da han vendte tilbage til arbejde efter juleferien. Han nåede at få artiklen oversat til engelsk (af Arthur Stanton) og bragt i et nummer af Nature, der udkom den 23. januar. Samme

dag holdt Röntgen på opfordring af medlemmerne i det medicofysiske selskab i Würzburg et offentligt foredrag, hvor publikums beundring steg til begejstring. I løbet af forestillingen optog Röntgen et radiografi (Figur 3) af en hånd, der tilhørte den verdenskendte anatom Albert von Koelliker. Denne foreslog inden mødets afslutning, at de nyopdagede stråler skulle kaldes de Röntgenske stråler. Röntgen selv foretrak dog i al beskedenhed at bruge navnet X-stråler. Også dagspressen fik hurtigt fat i nyheden om røntgenstrålerne. De usynlige stråler, der kunne afbilde menneskets indre, fangede offentlighedens interesse. Alene i pioneråret 1896 blev der publiceret over 1000 artikler om røntgenstråling i tidsskrifter og bøger.



Figur 3. Radiografi af anatomen Albert von Koellikers hånd. Billedet blev optaget ved det opsigtsvækkende møde i det medicofysiske selskab i Würzburg den 23 januar 1896. Anvendelse af et røntgenrør med fokuserende katode har resulteret i et billede med bemærkelsesværdig skarphed.

Her i Danmark foretog Martin Knudsen nogle forsøg med røntgenstråler allerede i 1896. Martin Knudsen fik senere et højt anset navn som fysiker gennem sine banebrydende undersøgelser over luftarternes fysiske egenskaber og gennem konstruktionen af sit absolutte manometer. I året 1896 var han lige blevet cand. mag. og udnævnt til assistent ved Polyteknisk Læreanstalts fysiske samling. Han fik lavet nogle katodestrålerør til frembringelse af røntgenstråler og gik i gang med at optage radiografier. Strålernes styrke skønnedes af klarheden af lyset fra en fluorescerende skærm, eller ved at prøve virkningen på en fotografisk plade i kassette lukket med trælåg. Martin Knudsen viste, at røntgenstrålerne kunne bringe skærmen til at lyse efter at de havde passeret brystet, halsen eller hovedet af et voksent menneske. Han optog bl.a. et fotografi af et hoved i profil, således at man tydelig kunne se kindbenene, de enkelte tænder samt en enøre, som lå mellem kinden og kassetelåget. En redegørelse for Martin Knudsens forsøg findes i Oversigt over det kongelige

BORAELECTRIC™

Substrate heaters for High- and Ultra High Vacuum, made from Pyrolytic Boron Nitride (PBN) and Pyrolytic Graphite (PG). Operating range from 20°C to 2000°C

Boraelectric Heating Elements are manufactured by CVD processing and are widely used in Surface Science, Thin Film Deposition and Metallurgical applications.

Standard sizes and shapes are available from stock. Custom designs are made on request.

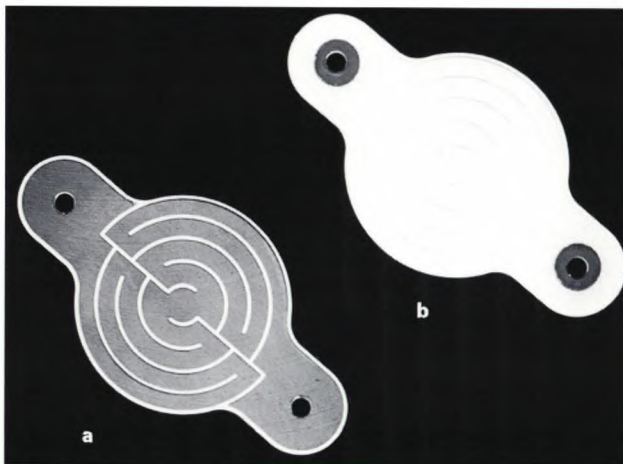
Call us for more information on your specific application.

crysis technology ab

Science Park Ideon, S-223 70 Lund, Sweden

Tel: +46 46182300

Fax: +46 46168975



Two versions of a standard 25mm heater

a) PG-pattern on PBN-base

b) PG-pattern on PBN-base and top coating with PBN

balzers

QualySniff – Garantien for læktæthed

*Let at anvende
Hurtig og nøjagtig
Automatisk kalibrering
Baggrunds subtraktion
Automatisk fejldiagnostik
Låsbare programparametre*



Nordiska Balzers AB
Baunegårdsvej 7 L
DK-2820 Gentofte
Tel. 31 68 32 61
Fax 31 68 22 55

Nordiska Balzers AB
Box 10412
S-434 24 Kungsbacka
Tel. *46-300 710 80
Fax *46-300 172 85

K032DK

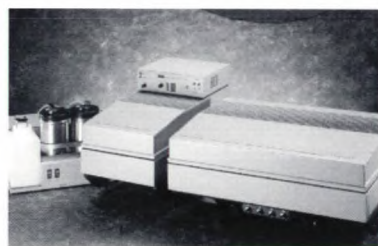


optilas

*Optilas Danmark, den lokale internationale
leverandør med specialer indenfor:*

Optik og lasere til forskning og industri

Continuum, Inc. - Corion Corp. - CVI Laser Corp. - Ion Laser
Technology, Inc. - Labsphere, Inc. - Laservision - Optical Surfaces



Ltd. - Physical Optics Corp.
- Research Electro Optics -
Santa Fe Laser Co. - Synrad,
Inc. - m.fl.

Spektroskopisk udstyr

Chromex, Inc. - McPherson
Milton Roy - Photek Ltd.
m.fl.



Elektronik

Directed Energy, Inc. - Maxwell Laboratories, Inc. - Quantum
Design, Inc. - Stanford Research Systems, Inc. - Trek, Inc. - m. fl.

Optilas Danmark

Billedvej 2

DK-2100 København Ø

Telefon: 3543 0133

Fax: 3543 8334

E-mail: optilas@inet.uni-c.dk

danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger⁵. Det kan i øvrigt nævnes, at professor H.O.G. Ellingers populære værk *Naturen og dens Kræfter*⁶ indeholder en udførlig redegørelse om røntgenstrålerne.

Årene omkring århundredeskiftet var en veritabel storhedstid for strålingsfysikken. Antoine-Henri Becquerel, som især interesserede sig for fosforescens, havde en idé om, at røntgenstrålerne skyldtes - eller havde forbindelse med - fluorescensen i glasvæggen, hvor katodestrålerne ramte. Han pakkede en fotografisk plade omhyggeligt ind i sort papir eller i aluminium-folie. Ovenpå lagde han nogle fosforescerende uransaltkrystaller, og det hele blev belyst af sollys i adskillige timer. Efter fremkaldning viste det sig, at den fotografiske plade var sværet. Becquerel mente først, at forsøget havde bekræftet hans hypotese - solenergien var årsagen til den observerede effekt. Snart fandt han imidlertid frem til, at hverken sollys, fluorescens eller fosforescens havde nogen som helst indflydelse på de usynlige og gennemtrængende stråler, som blev udsendt fra uransalt-krystallerne. Der var tale om en uafhængig og spontan process, som foregik selv i absolut mørke. Becquerel havde opdaget den radioaktive stråling. I marts 1896 fremlagde Becquerel sin opdagelse for Videnskabsakademiet i Paris, og ti dage senere publicerede han en artikel i *Comptes Rendue*. Den hurtige offentliggørelse var betydningsfuld for Becquerel, idet Sylvanus Thompson i London udførte lignende forsøg med uransalt-krystaller. Formanden for the Royal Society opfordrede Thompson til at publicere sine resultater, men det var for sent. Becquerel havde allerede foregrebet begivenhedernes gang med sin artikel. Den lille tidsforskel har været afgørende for, at SI-enheden for radioaktivitet i dag er becquerel (Bq) og ikke thompson!

Nu kom opdagelserne slag i slag: i 1897 fandt Joseph John (J. J.) Thomson, at katodestrålerne består af partikler med negativ elektrisk ladning, dvs. elektroner; samme år undersøgte Ernest Rutherford den radioaktive stråling fra uran og opdagede α - og β -strålerne, som han senere identificerede som heliumkerner henholdsvis elektroner. I 1898 bekendtgjorde ægteparret Pierre og Marie Curie opdagelsen af de radioaktive grundstoffer polonium og ra-

dium; i samme år opdagede Paul Villard γ -strålerne og viste, at de var af samme natur som røntgenstrålerne. Den 10. december 1901 modtog Wilhelm Conrad Röntgen som den første Nobelpriisen i fysik. I dag er CT (Computerized Tomography) -scannere, intense synkrotronstrålingskilder og satellitbårne røntgenteleskoper blot nogle udvalgte eksempler på den enorme udvikling, der har fundet sted inden for videnskab og teknologi med anvendelse af røntgenstråling.

Referencer:

- 1) W.C. Röntgen, Über eine neue Art von Strahlen, Sitz.-Ber. d. Würzb. med.-phys. Ges. 1895, pp. 137-141; genoptrykt i Ann. d. Physik u. Chemie, N.F. 64, 1-11 (1898); eng. overs. af A. Stanton i Nature 53, 274-277 (1896) og Science 3, 227-231 (1896).
- 2) W.C. Röntgen, Über eine neue Art von Strahlen. Zweite Mittheilung, Sitz.-Ber. d. Würzb. med.-phys. Ges. 1896, pp. 11-19; genoptrykt i Ann. d. Physik u. Chemie, N.F. 64, 12-17 (1898); eng. overs. af A. Stanton i Science 3, 726-729 (1896).
- 3) W.C. Röntgen, Weitere Beobachtungen über die Eigenschaften der X-Strahlen, Mathem. u. Naturw. Mitt. d. Sitz.-Ber. d. kgl. preuss. Akad. d. Wissensch. z. Berlin 1897, pp. 392-408; genoptrykt i Ann. d. Physik u. Chemie, N.F. 64, 18-37 (1898).
- 4) W. Friedrich, P. Knipping og M. Laue, Interferenzeerscheinungen bei Röntgenstrahlen, Sitz.-Ber. Math.-Phys. Bayr. Akad. Wiss. 1912, pp. 303-322; genoptrykt i Ann. d. Physik 41, 971-988 (1913).
- 5) M. Knudsen, Nogle Forsøg over Frembringelse af Röntgenske Straaler, Oversigt over det kongelige danske Videnskabernes Selskabs Forhandlinger XXVI, 150-158 (1896).
- 6) H.O.G. Ellinger, *Naturen og dens Kræfter*, Det Nordiske Forlag, København 1897-98.



Asger Lindegaard-Andersen er professor ved Fysisk Institut, Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Lyngby. Han interesserer sig især for krystaldyrkning, røntgen-diffraktionstopografi, røntgentomografi til materialefysiske undersøgelser, ikke- destruktiv prøvning af materialer samt fysisk vandbehandling.



Leif Gerward er docent ved Fysisk Institut, Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Lyngby. Han interesserer sig især for røntgentopografi, absorption af røntgenstråling samt anvendelser af synkrotronstråling, herunder røntgendiffraktion under meget høje tryk.

Vacuum Generators introduces its WWW Pages on the Internet!

To find out what is going on in the World of Ultra High Vacuum (UHV), please log on to the Vacuum Generators World Wide Web Pages. Using your WWW browser, simply log onto :

<http://www.surface.fisons.co.uk/vacgen/>

and see what we can do for you! Our WWW pages are FREE and include the following:

Up to the minute information on New Products.

Up to minute information on our Special Offers & Promotions.

Access to important Health and Safety information.

Find out about which Exhibitions we will be attending close to you.

Newsletters with examples of user applications.

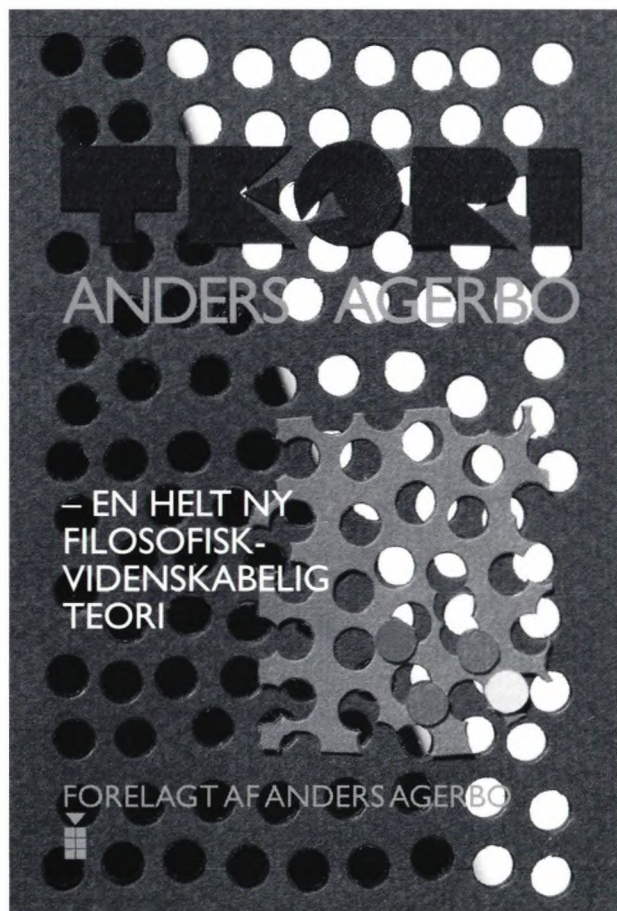
Help with Communicating within Vacuum Generators.

Download Demo software

Easy access to Technical Support and Customer Care.

1995 Vacuum Generators UHV Components on-line catalogue.

For further information, please contact Kennet Joelsson at Fisons Instruments Nordic AB,
tel. +46-8-730 02 95, fax +46-8-730 42 42 or email : kennet.joelsson@fisons-instruments.se



... En "kvalitativ-motivation" er et af de begreber, som spiller en stor rolle i denne bog og denne teori. Det refererer til den, i den teoretiske fysik, næsten totale mangel på direkte "kvalitativ" motivation (årsag) til ændring – til aktiviteten i Universet. Hvor kun en næsten udelukkende "kvantitativ" (matematisk) ændring – i kun få kvalitativt forskellige kræfter og energiformer – udgør hele Universets "motivation" til aktivitet, endsige ændring til kinetiske energiformer. En "kvalitativ-motivation" er den motivation til aktivitet, som vi selv kender som et *direkte* "kvalitativt" valg – tiltrækning til en *bedre* kvalitet, på trods af en eventuel *mindre* kvantitet. En motivation som ikke forekommer i fysikken – i de eksakte videnskaber, overhovedet! Teorien vil forsøge at erkende og indføre en sådan "kvalitativ-motivation" i fysikken; hvilket sker på en meget overraskende og på en – i vores tilværelse – dybt berørende måde!

195,- kr. HOS BOGHANDLEREN

ET FORBAVSENDE BUD PÅ »VIRKELIGHEDEN«!:

Hvordan beregnede Newton centripetalaccelerationen i månens bane ?

Tom Bøgeskov

Principia Mathematica

Isaac Newtons (1642-1727) "Principia"¹ er uden tvivl det mest indflydelsesrige værk nogensinde i naturvidenskabernes historie.

For det første udgør Principia ikke blot den første store syntese, men tillige en omfattende videreudvikling af den nye fysik, der havde fået sit videnskabelige gennembrud med Galilei (1564-1642) i den første halvdel af 1600-tallet. Med tidens nye bevægelsesbegreb, inertialbevægelsen (dvs bevægelse under inertiens lov), som alment princip for al bevægelse i universet slog Principia den første solide bro over fortidens svælg mellem den jordiske og den himmelske fysik, som her blev forenede under fælles mekaniske bevægelseslove.

For det andet lykkedes det Newton at frembringe principper og erkendelser af en sådan holdbarhed, at de kom til at udgøre grundlaget for de næste 200 års fysik, i hele "den klassiske mekaniks" epoke.

Når Newton overhovedet formåede at gennemføre en præstation af dette omfang, så var en af de afgørende forudsætninger hans umådelige matematiske begavelse, som også kom til udtryk i frembringelse af infinitesimalregningen, der i eftertiden har været et uundværligt redskab for den matematiske naturbeskrivelse. Det kan nok på denne baggrund undre, at Newton i Principia kun enkelte steder selv benytter differential- og integralregningens sprog. De fysiske relationer og erkendelser kommer ikke til udtryk i analytiske funktioner og differentialligningers symbolsprog, men i verbalt formulerede fysiske begreber og syntetisk geometriske proportioner. En del af forklaringen herpå er vel den enkle, at skulle han gøre sig håb om at blive forstået ud over en meget snæver kreds, så måtte han formulere sig i det sprog, som var almindeligt anvendt i samtiden.

Ikke desto mindre krævede store dele af det behandlede stof en praktisk inddragelse af grundlæggende ideer fra infinitesimalregningen, først og fremmest anvendelsen af grænseværdibetragtninger, hvilket medførte en ganske betydelig raffinering af det geometriske sprog og dets udtryksmuligheder i forhold til det sprog, vi møder hos Newtons forgængere, fx Galilei og Christiaan Huygens (1629-1695)².

Indholdet i Principia

Principia er opdelt i en indledning og 3 "bøger".

Indledningen indeholder først en række *definitioner* af fysiske begreber: masse, bevægelsesmængde (impuls), "iboende kraft" (dvs inert i = modstand mod acceleration), "indpræget" eller bevægende kraft, centripetalkraft

og acceleration, hvortil kommer en diskussion af begreberne absolut rum og absolut tid samt af absolut og relativ bevægelse. Dernæst følger "aksiomer eller bevægelseslovene". Det er *de tre Newtonske love*, hvoraf han umiddelbart udleder bla superpositionsprincippet for kræfter ("kræfternes parallellogram") og sætningen om impulsbevarelse for et isoleret system.

1. bog udleder en lang række almene love for bevægelser, specielt under indflydelse af centralkræfter. Her bevises Keplers 2. lov for planetbevægelse (loven om konstant arealhastighed). Her analyseres bevægelse i forskellige banetyper, hovedsageligt keglesnit. For et legeme, der bevæger sig i en ellipsebane, viser Newton det helt afgørende, at centripetalkraften, rettet mod ellipsens ene brændpunkt, er omvendt proportional med kvadratet på afstanden, samt at dette er konsistent med Keplers 3. lov (som relaterer omløbstiden til ellipsens storakse). Det er også her det vises, at massetiltrækningen fra en homogen kugle virker, som om hele kuglens masse er koncentreret i dens centrum, et bevis, der udgør en helt afgørende forudsætning for at generalisere partikeldynamikken til de udstrakte legemer i fx solsystemet.

2. bog, der historisk har vist sig mindre holdbar end de øvrige, behandler legemers bevægelse i medier med gnidningsmodstand og forskellige hydromekaniske spørgsmål. Newton retter her et tilintetgørende slag mod den i samtiden bredt accepterede "hvirvelteori" for solsystemet, som var fremsat af Descartes. Netop undergravningen af tilliden til Descartes' teori var en væsentlig forudsætning for Newtons egen gennemslagskraft³.

I Principias 3. bog anvendes den i 1. bog udviklede partikeldynamik på solsystemet. Med indholdet af Keplers 2. og 3. lov som empirisk grundlag udledes, at planeter, satellitter og kometer holdes i deres baner af en centripetalkraft, der er rettet mod et centrallegemes centrum, og at denne kraft er omvendt proportional med kvadratet på afstanden fra dette centrum.

Med den yderligere bestemmelse af kraftens proportionalitet med massen når vi til den Newtonske fysiks mesterstykke, det generaliserede princip om *den universelle gravitation*: alle masser tiltrækker hinanden med en kraft, der er proportional med produktet af masserne og omvendt proportional med kvadratet på afstanden. Af speciel interesse - også med henblik på denne artikels betragtninger over månens bevægelse - er det, at også afvigelser fra Kepler-bevægelsen (perturbationer) ifølge Newton lader sig forklare ud fra gravitationsloven.

3. bog indeholder endvidere en tidevandsteori og en teori for Jordens fladtrykning ved polerne samt for tyng-

Transpector søger personlig computer

Transpector er et ny, prisbilligt, højeffektivt og kompakt massespektrometer til gasanalyse, processtyring og læksøgning.

Systemets elektronik og målehoved er en kompakt enhed, mens processtyring og dataregistrering går via PC, Leybold leverer naturligvis passende software.

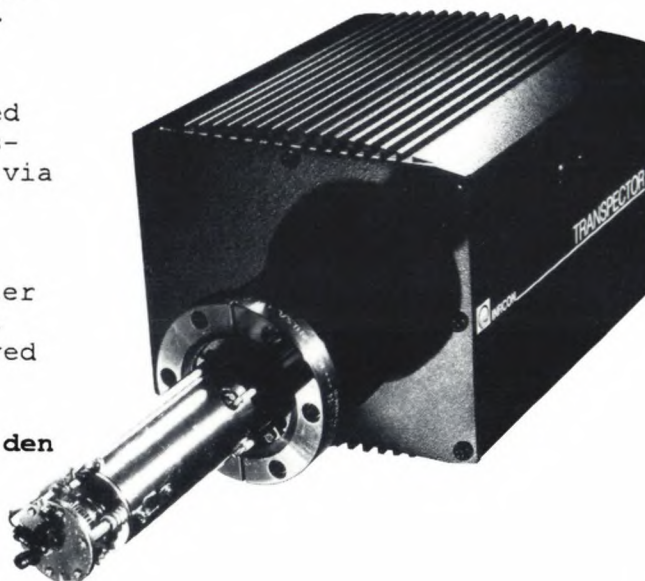
Der findes 7 forskellige varianter af Transpector, bl.a. en kompakt version (0-100Amu med FC målehoved for omkring kr. 40.000,-

Transpector - til enhver opgave den rigtige løsning.

Spørg efter vor skræddersyede Transpector version

LEYBOLD ApS

Roskildevej 342A, 2630 Tåstrup
Tlf.: 43996444



dens variation med breddegraden.

Stoffet i de tre bøger er ordnet i en række *propositioner*, hvoraf der er to typer: dels problem-sætninger, der stiller bestemte opgaver til løsning, dels de egentlige læresætninger, *teoremerne*. Propositionerne følges hypotigt af *corollarier*, dvs umiddelbare følgeslutninger. Undervejs findes tillige en række *lemmaer* (hjælpesætninger), overvejende af matematisk art.

Månens fald mod Jorden

Vi skal i det følgende blot beskæftige os med en lille detalje i det omfattende værk, nemlig Newtons beregning af centripetalaccelerationen i månebanen.

Newton opfattede Månens bevægelse som en inertialbevægelse, der er genstand for en afvigelse pga massetiltrækningen fra Jorden. Det er altså Jordens tiltrækning, der - som centripetalkraft - holder Månen i dens bane og dermed forhindrer den i at forsvinde ud i rummet ad en ret linie.

Da nu kraften og dens virkning er proportionale, og da denne virkning er Månens acceleration, så kan Newton søge et mål for centripetalaccelerationen gennem en bestemmelse af den vejlængde, som Månen i korte tidsintervaller "falder" imod Jorden.

Allerede i følgeslutningerne til principias 1. teorem

leverer Newton den almene forskrift for beregning af faldvejen ved en sådan centripetalkraftbetinget afvigelse fra inertialbevægelsen. Konklusionen lyder:

De kræfter, som bevirker, at legemer i et modstandsløst rum trækkes bort fra retlinede bevægelser for i stedet at bevæge sig ad krumme baner, forholder sig til hinanden som sinus versus til de buer, der gennemløbes i samme tider; disse sinus versus er rettede mod kraftcentret og halverer korderne, hvor disse buer formindskes i det uendelige" [1, side 42].

Det trigonometriske begreb "sinus versus" er stort set ukendt i dansk matematisk tradition, men figurerer stadig i den angelsaksiske verden under betegnelsen "versed sine". sinus versus til Θ defineres som $1 - \cos \Theta$. Når Newton taler om sinus versus til en bue, der gennemløbes i et bestemt tidsinterval t , mener han i virkeligheden længder, der kan bestemmes som $R(1 - \cos \omega t)$.

Vi skal senere se at at Newtons sinus versus til en bue er et mål for Månens afvigelse fra den retlinede inertialbevægelse og kan beregnes, hvis blot Månens omløbstid og afstand fra Jordcentret er kendte.

Tyngdekraften

Det er i 3. bogs teorem IV [1, side 407f], vi finder Newtons værdi for Månens fald og de grundlæggende, men

dermed også kun nødtørftige, anvisninger for beregningen af denne værdi. Han skriver:

"hvis vi nu forestiller os Månen frigjort fra og frataget al bevægelse, således at den falder mod Jorden under indvirkning af hele den kraft, der holder den i dens bane, så vil den på 1 minut falde $15\frac{1}{12}$ pariserfod⁴. Dette resultat får jeg ved en beregning, der er baseret enten på proposition XXXVI i bog 1, eller (hvilket giver det samme) på corollarium IX, proposition IV i samme bog. For sinus versus til den bue, som Månen med sin middelhastighed gennemløber på 1 minut i en afstand af 60 jordradier, er ca. $15\frac{1}{12}$ fod [1, side 408]."

Så vidt er teksten i Principais 3 udgaver den samme. Men 3. udgaven (1726) tilføjer: *"eller mere præcist 15 fod, 1 tomme og $1\frac{4}{9}$ linie."*

Nu er hovedpointen i dette berømte måneteorem, at netop fordi Jordens tyngdekraft aftager med kvadratet på afstanden fra Jordens centrum, og Jord-Måne afstanden er 60 jordradier, så vil et legeme ved jordoverfladen falde den samme længde på 1 sekund (I et homogent gravitationsfelt med tyngdeaccelerationen g er faldvejen $s = \frac{1}{2}gt^2$, i tiden t . I Månens afstand er tyngdeaccelerationen fra Jorden $g/60^2$). Huygens beregner faldlængden i 1 sekund ved jordoverfladen til "meget nær 15 fod og 1 tomme" [5, side 171], og derfor er (og nu kommer Newtons hovedpointe) den kraft, der holder Månen i dens bane, den samme, som får legemer til at falde her på Jorden, nemlig tyngdekraften.

I Principias 3. udgave, hvor Newton angiver en mere præcis faldlængde for Månen, må der imidlertid have været brug for en mere nøjagtig værdi for tyngdekraften end den omtrentlige værdi, som Huygens eksplicit anfører i sit værk om penduluret. Også her støtter Newton sig til Huygens, idet denne i samme værk [5, side 168] tillige angiver sin måling af sekundpendulets længde. Newton skriver i 3. udgaven [1, side 408]:

"Længden af et sekundpendul på Paris' breddegrad er, som Huygens har observeret, 3 pariserfod og $8\frac{1}{2}$ linie. Og den længde, som et tungt legeme falder på 1 sekund, forholder sig til det halve af denne pendullængde som kvadratet på forholdet mellem en cirkels omkreds og dens diameter (som Huygens også har vist) og er derfor 15 pariserfod, 1 tomme og $1\frac{7}{9}$ linie." Denne længde afviger kun $\frac{3}{9}$ linie (0,75 mm) fra Newtons præciserede værdi for månens faldlængde i et minut (I vores tilvante formelsprog vises ovenstående relation således: faldvejen i 1 sekund er $s_1 = \frac{1}{2}g \cdot 1\text{sek}^2$. Sekundpendulets længde l_2 er bestemt ved $2\text{sek} = 2\pi\sqrt{l_2/g}$, hvoraf fås $2s_1 = \pi^2 \cdot l_2$).

Nu er der en vis ironi i, at Newton vælger denne løsning. For Huygens' angivelse, "meget nær 15 fod, 1 tomme", er et afrundet resultat på en beregning, hvis forudsætninger er opgivet [5, side 171]; gennemfører man regnestykket, bliver det præcise resultat: 15 fod, 1 tomme og $1\frac{4}{9}$ linie, altså en fuldkommen overensstemmelse med Newtons tal.

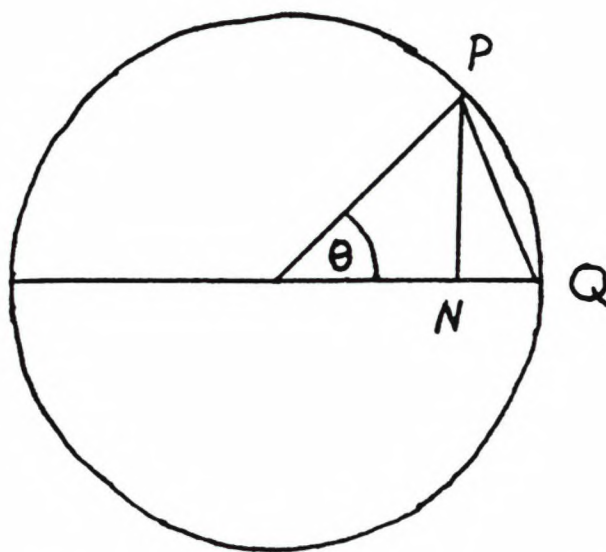
Spørgsmålet er nu, hvordan Newton bestemmer månens faldlængde præcist til 15 fod, 1 tomme og $1\frac{4}{9}$

linie? Svaret ligger ikke lige for, idet de anvisninger, der eksplicit gives i teorem IV (jvnfr. citatet ovenfor), vil vise sig at være utilstrækkelige!

En formel for månens faldlængde

Vil man prøve at finde vej gennem Newtons metode til beregning af den pågældende værdi, er der naturligvis kun een indgang hertil: man må tage fat i de to propositioner fra 1.bog, som han henviser til. Da resultatet imidlertid bliver det samme, nøjes jeg her med at inddrage corollarium IX, proposition IV, som lyder [1, side 46]:

"Den bue, som et legeme, der bevæger sig i en jævn cirkelbevægelse med en given centripetalkraft, beskriver i en given tid, er mellemproportional mellem cirkelns diameter og den vej, det samme legeme vil falde i den samme givne tid under indvirkning af den samme givne kraft."



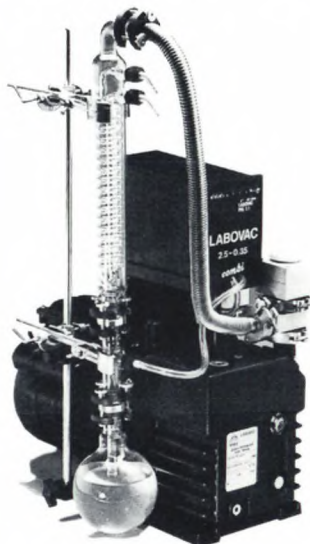
På figuren, som kunne forestille Månens bane om Jorden, betegner QP den bue, som Månen gennemløber i en given tid, fx et minut. Buens længde betegnes l_1 . Uden tiltrækningen fra Jorden ville den fra Q have fulgt tangenten til cirklen. I forhold til denne "inertielle bane" er månen i samme tid "faldet" stykket QN. Nu er det en kendt sætning fra den klassiske geometri (betragt eventuelt et par ligedannede retvinklede trekanter), at korden PQ er mellemproportional til QN og cirkelns diameter, $2R$, altså $PQ^2 = 2R \cdot QN$.

Lader vi nu P nærme sig Q, sådan at "buen formindskes i det uendelige", så vil (ifølge Principias Lemma VII, side 37) forholdet mellem korden PQ og buelængden l_1 blive et "ratio of equality", dvs nærme sig 1. Heraf følger, at $l_1^2 = 2R \cdot QN = 2R \cdot R(1 - \cos \Theta)$, hvor $R(1 - \cos \Theta)$ er den størrelse, som Newton kalder sinus versus til en bue.

Vi har, at $l_1 = R\Theta_1$, hvor Θ_1 er den vinkel, retningen til Månen ændrer sig i et minut. Dermed får vi endelig følgende formel for Månens faldvej mod Jorden i 1 minut:

$$s_1 = QN = \frac{1}{2}R \cdot \Theta_1^2; \quad (1)$$

MODERNE VAKUUMTEKNIK TIL FORSKNING OG INDUSTRI



SASKIA HOCHVAKUUM- UND LABORTECHNIK GmbH I ILMENAU er et succesrigt resultat af øst-vest genforeningen i Tyskland. SASKIA's et- og to-trins finvakuumpumper fra 4 til 200 m³h⁻¹ har rotor-skiver af et nyt PTFE materiale som sænker støjniveauet med ca. 3 dBA og tillader pumperne at arbejde konstant ved højt tryk eller med aggressive gasser. Med en frekvensregulering kan pumpehastigheden fordobles, så man f.eks. hurtigt kan evakuere et anlæg og derefter anvende pumpen som holdepumpe ved lav hastighed. SASKIA's kemisk resistente membran-pumper har liniærdrevne membraner, hvilket sikrer en lang levetid og lavt effektforbrug. En membranpumpe på ca. 30 W kan med de store afgifter på brugsvand hurtigt tjene sig ind, hvis den erstatter en vandstråle-pumpe. SASKIA's TOWER pumpestande er kemipumpestande kombineret med kondensatorer og med instrumentering for indstilling af trykket. SASKIA leverer oliefri pumpestande kombineret med turbomolekularpumper i et handy design og rootspumpestande op til 20.000 m³h⁻¹.

ALLE FORMER FOR OLIEFRI & OLIESMURTE ROTATIONSVAKUUMPUMPER • FEDTSMURTE TURBOMOLEKULAR- SPIRO- & HYBRIDPUMPER • DIFFUSIONS- & CRYOPUMPER • VAKUUMMÅLEINSTRUMENTER, VENTILER, HV & UHV FITTINGS • HELIUMLØKSØGERE & MASSESPEKTROMETRE • SPUTTER- ELEKTRONKANON & ÆTSEANLÆG • RF & HV STRØMFORSYNINGER • RUSTFRI SPECIALKAMRE & DELE • OMBYGNING AF VAKUUMANLÆG

WENZEL VAKUUM TEKNIK APS • NYBROVEJ 283 • DK-2800 LYNGBY • TLF. 45 87 97 35
SHOWROOM, SERVICE, LAGER • NYBROVEJ 193 • BIL 30 42 63 00 • FAX 45 93 32 93

den kan altså beregnes, når blot Månens omløbstid og dens afstand fra Jorden er kendt. Newton angiver i 3. bogs teorem IV (side 408) følgende værdier som grundlag for sin beregning: Månens sideriske omløbstid: 27 døgn, 7 timer og 43 minutter. Jordens omkreds (målt af Picard): 123 249 600 pariserfod. Månens middelfastand fra Jordens centrum: 60 jordradier. Med disse værdier finder man $s_1 = 15,00900$ fod.

Følger man Newtons anvisning og bruger den deraf afledte formel, kommer man til, at Månens fald mod Jorden i 1 minut skulle være $s_1 = 15$ fod og $1\frac{3}{10}$ linie, altså et resultat, der er en del mindre end Newtons mest præcise værdi, og som endog kun med en vis skævhed kan accepteres som "ca. $15\frac{1}{12}$ fod". Men der er ikke yderligere hjælp at hente i teorem IV's beregningsanvisninger.

Solens tiltrækning

Nu forholder det sig imidlertid således, at den faldlængde, vi her har beregnet ud fra observationerne, må være betinget af den samlede sum af de kræfter, som er involveret. Faldlængden inkluderer altså også virkningen af solens tiltrækning og den må derfor korrigeres for denne virkning, hvis resultatet skal være sammenligneligt med tyngdekraften på Jordens overflade !

Den faldlængde, vi i første omgang har fundet, er

altså ikke proportional med tyngdekraften G fra Jorden i Månens bane, men med kraften $G - F$, hvor F er den kraft, hvormed Solen i gennemsnit trækker Månen og Jorden fra hinanden (fordi en af dem for det meste er nærmere ved Solen end den anden).

Newton har allerede i Proposition III, 3. bog hævdet, at F forholder sig til centripetalkraften i månebanen som $1/178,725$ (ganske ironisk er hans formål der at bevise, at denne kraft er så lille, at man kan se bort fra den - men nu har vi alligevel brug for den !).

I 1. bogs Proposition LXVI, corollarium XVII (side 184) har Newton vist, at F - opfattet som middelværdien af en acceleration - forholder sig til Jordens acceleration mod Solen som radius i månebanen til radius i Jordens bane om Solen. Ved at benytte formlerne for jævn cirkelbevægelse på de to baner finder man, at forholdet F/G er lig med kvadratet på forholdet mellem Månens og Jordens omløbstider, hvilket giver det ovennævnte forholdstal. Heraf får vi $F = \frac{G}{178,725} = \frac{G-F}{177,725}$ eller $G = \frac{178,725}{177,725} \cdot (G - F)$. Vores faldlængde s_1 , som skyldes $G - F$, skal med andre ord multipliceres med denne brøk for at give den faldlængde, der alene skyldes Jordens tiltrækning. Denne korrektion giver præcis 15 fod, 1 tomme og $1\frac{4}{9}$ linie.

Resultatet, som er fremkommet ved en karakteristisk

samvirken af teoretisk viden om fald- og cirkelbevægelse, empiriske målestørrelser og tankeeksperimenter, er ækvi- valent med 4,902352 meter. Månens fald ad denne længde i 1 minut i en afstand fra Jorden på 60 jordradier svarer til en tyngdeacceleration ved jordoverfladen på $9,805 \text{ m/s}^2$ og en acceleration i månebanen på $2,7 \text{ mm/s}^2$.

En afsluttende kommentar

Som anført sætter Newton blandt forudsætningerne for denne beregning Månens afstand fra Jordens centrum til 60 jordradier. Der er imidlertid ingen grund til at tro, at han anså denne værdi for at være helt præcis: han indleder 3. bogs teorem IV med at anføre en række værdier, som de er anslåede af tidligere astronomer, og som spænder over et interval fra 56,5 til 60,5 jordradier, hvorefter han fortsætter: "lad os *antage* (assume) en middelfast på 60 radier" (min kursivering).

Man kan da spørge, hvorfor Newton overhovedet foretager sin korrektion. Er den egentlig ikke meningsløs, når man tager den usikkerhed i betragtning, der gør sig gældende for Jord-Måne-afstanden? Hvis sigtet med korrektionen alene var at finde den præcise værdi af den pågældende faldlængde, måtte svaret utvivlsomt blive et ja.

Imidlertid er selve teoremets hovedsigte netop ikke af en sådan praktisk art, men derimod at fundere det kvalitative udsagn at *det er den samme kraft, der virker i månebanen og ved jordoverfladen*. Og da bliver det for en principiel logisk betragtning nødvendigt at korrigere for solens virkning, hvis en sammenligning med tyngdekraften ved Jorden skal begrunde denne konklusion. Det bliver nødvendigt at eliminere fremmede kræfter for derved at *isolere* den ene kraft for at kunne konkludere, at virkningerne ved jordoverfladen og i månebanen er virkninger af denne, "den samme kraft".

Det er i denne sammenhæng ikke uden interesse, at Newton allerede i 1666 havde noteret sig den samme konklusion, men på grundlag af måltal, der var langt mere upræcise⁶.

Det erkendelsesteoretiske princip, vi her kan spore, peger på, at tesen om at "tyngden rækker helt ud til Månens bane" oprindeligt er fremkommet som et kvalificeret gæt, der hviler på indsigt i bevægelseslovene, og som efterfølgende er blevet underbygget af stadigt mere præcise måltal.

Den "verden af præcision", som er den moderne fysiks verden, var først under udvikling netop i 1600- og 1700-tallet, hvor den på mange områder snarere var et tilstræbt ideal end en realitet.

Referencer:

- 1) *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Naturfilosofiens matematiske principper) udkom i Newtons levetid i tre forskellige udgaver: 1687, 1713 og 1726. Den første engelske oversættelse udkom i 1729 og er baseret på værkets 3. udgave. Det er Florian Cajoris revision fra 1934 af denne oversættelse, der idag er almindeligt tilgængelig i paperback-udgave: *Mathematical Principles of Natural Philosophy and his System of the World* (University of California Press). Mine sidehenvisninger refererer til denne udgave.
- 2) Tidligere formodninger om, at Newton først skulle have affattet Principia i infinitesimalregningens sprog og derefter "oversat" den til geometrisk sprog, kan formentlig anses for en skrøne. Der er i det mindste aldrig fundet manuskripter, der kunne dokumentere noget sådant.
- 3) Olaf Pedersen, Omkring Newtonismens gennembrud, *Fysisk Tidsskrift* 86, nr. 3 (1988).
- 4) 1 pariserfod ("pied de roi") = 0,3248 m. Foden deles i 12 tommer og tommen i 12 linier. Månen falder altså ca. 4,9 m i det første minut.
- 5) C. Huygens, *Horologium Oscillatorium* (1673), som oversat i *The Pendulum Clock* (Ames, Iowa 1986). Det vides, at Newton fik et eksemplar af Huygens ved udgivelsen. Huygens var om nogen pioneren i arbejdet med at måle tyngdeaccelerationen.
- 6) Ole Knudsen, Om kraftbegrebets udvikling hos Newton, *Gamma* nr. 71, (1988), side 12-14.



Tom Bøgeskov er mag. art. i litteraturvidenskab og har især beskæftiget sig med filosofi, ide- og videnskabshistorie.

Antibrint aflivet!

- eller blot i venteposition?

Ove Nathan

Når et gigantprojekt står på dagsordenen, og budgettet er begrænset, så kan de små komme i klemme. Sådan gik det i CERN, da man i slutningen af 1994 omsider fik grønt lys for bygning af LHC, Den Store Hadron Kollider, den maskine som om godt et årti vil markere CERN på landkortet som verdens mest avancerede højenergilaboratorium. Med LHC (omtalt af John Renner Hansen i KVANT 1991) regner man med i år 2008 at kunne studere protonstød et godt stykke oppe i TeV området. Gennem en analyse af sådanne stød vil man kunne spore kvarkernes og gluonernes opførsel ved disse høje energier inde i de stødende proton-partikler. Håbet er, at man på den måde kan få afdækket dele af den såkaldte Higgs-mekanisme, som synes at være nøglen til forståelsen af elementarpartiklernes masse.

Beslutningen om LHC er på flere måder positiv for højenergifysikken i almindelighed og for europæisk højenergifysik i særdeleshed. Men det er ærgerligt, at CERN samtidig har måttet acceptere et slagteoffer, som næppe vil indebære megen reel økonomisk besparelse, men som symbolsk skal demonstrere sparevilje. Det drejer sig om LEAR, en mindre ring-maskine i CERNs maskinpark, hvis specialitet er at lagre antiprotoner ved lav energi. Det mindre måtte vige for det gigantiske, uanset at LEARs lavenergetiske antiprotonfacilitet er enestående lige nu, globalt set, og uanset at der i feltet omkring LEAR er tegnet ganske fascinerende fremtidsperspektiver. En dag får LEAR vel en efterfølger et eller andet sted i verden, og så kommer "kolde" antiprotoner på tapetet igen. Men i en årrække vil den slags fysik få trange kår.

Men gemt bør ikke være glemt, og det gælder ikke mindst ideen om at bruge LEAR til at producere og studere brintatomets modstykke, antibrint. Antibrint er det - stabile - atom, der består af en antiproton og en positron. Nok er antiprotoner og andre antipartikler blevet rutine i nutidens højenergilaboratorier, men elektrisk neutralt, atomart antistof er så delikat at producere, at det endnu har underdraget sig et eksperimentelt studium. Perspektivet er ellers spændende nok: via spektroskopi med antibrint vil man kunne afprøve symmetrien mellem stof og antistof mere direkte end man hidtil har kunnet gøre det. Pointen er, at atomfysikken har ekstremt præcise metoder til måling af fundamentale fysiske størrelser. Dertil kommer, at man vil kunne afprøve antistoffets opførsel i et gravitationsfelt under adskilligt bedre betingelser end man har kunnet gøre fx med antiprotoner, netop fordi antibrint er neutralt, og dermed mindre udsat for forstyrrelser fra elektriske felter i forsøgsopstillingen.

Den fundamentale symmetri mellem stof og anti-

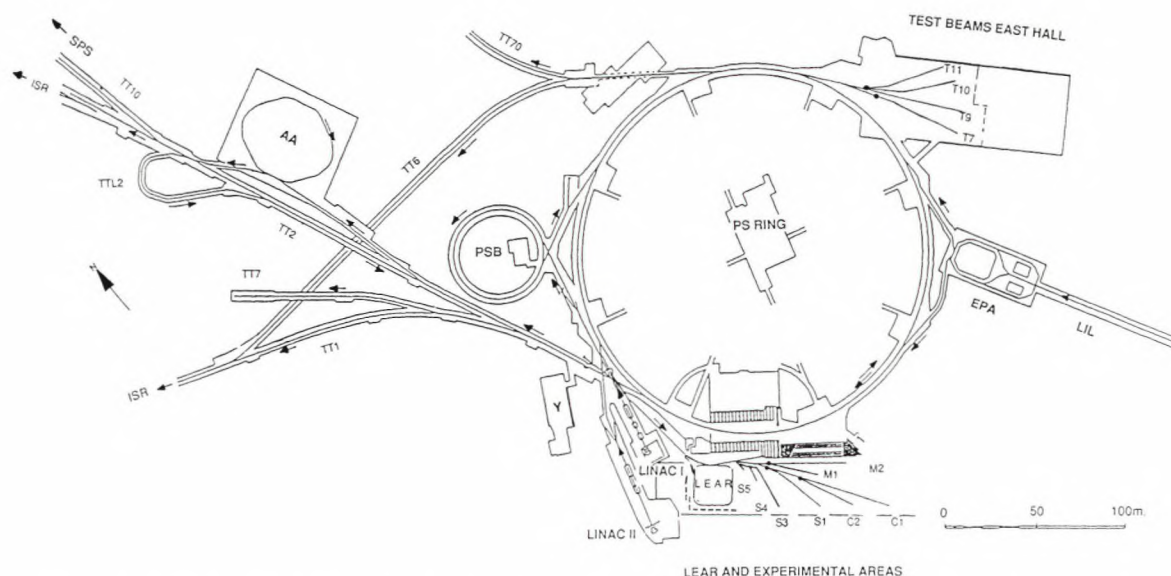
stof udtrykkes i den relativistiske kvantefeltteori ved det såkaldte CPT teorem (C = ladning, P = paritet, T = tid), hvis generelle gyldighed ikke er blevet antastet i tidens løb. Derimod ved vi, at symmetriegenskaberne undertiden bryder sammen, når en af de tre transformationer ikke udføres. Således er der ikke paritetsbevarelse i svage vekselvirkningsprocesser, som fx beta-henfald. En total CPT operation indeholder en ladningsomvending, en paritets-transformation og en tidsomvending, og den kombinerede udførelse af disse tre operationer transformerer en partikel over i en antipartikel. Eksperimentelt kan gyldigheden af CPT symmetrien afprøves ved at sammenligne egenskaber ved partikler og antipartikler. Inertimasserne (de træge masser) af en elementarpartikel og dens antipartikel forudsiges at være eksakt ens, og ladningerne forudsiges at være af modsat fortegn, men af nøjagtig samme størrelse. Og i sammensatte systemer som brint og antibrint skal de atomare spektre være ens. Det gælder både grovstrukturen, finstrukturen, hyperfinstrukturen og Lamb skiftet. Hvis fremtidige eksperimenter skulle vise, at dette ikke er tilfældet, vil den relativistiske kvantefeltteori komme i vanskeligheder. Hughes² opregner en række mekanismer, som kunne give anledning til brud på en ideel CPT symmetri. Hans konklusion er, at selvom CPT symmetrien endnu ikke er blevet antastet, så er den dog ikke på samme urokkelige grund som fx energibevarelsen er.

Den hidtil nøjagtigste test af stof-antistofsymmetrien kommer fra en sammenligning af masserne af den neutrale K^0 meson og dennes antipartikel. For dette system har man målt en relativ inerti-masseforskel på mindre end $5 \cdot 10^{-18}$. Men målingen er ret indirekte. Den beror på et studium (Carosi et al., CERN 1990) af den neutrale K^0 mesons henfald til to pioner, hvorfra man kan slutte sig til den nævnte masseforskel. Ordet masse henfører her udtrykkeligt til inertimasse eller træg masse, ikke til den tunge masse, der giver sig til kende i et tyngdefelt.

Mere direkte målinger af masseforskellen foreligger for det baryonsystem, der består af en proton og en antiproton, men her er nøjagtigheden langt lavere, nemlig af størrelsesordenen 10^{-8} (Gabrielese et al., CERN/LEAR 1990). Det man direkte måler er strengt taget ikke en forskel mellem inertimasser, men mellem cyklotron-frekvenser, dvs forskelle i forholdet mellem ladning og masse for proton og antiproton.

I lepton systemer er den nøjagtigste eksperimentelle test af stof/antistofsymmetrien en sammenligning mellem de magnetiske momenter af elektronen og positronen. Den relative afvigelse er målt til at være mindre end 10^{-10} .

Hvis man havde antibrint til rådighed i tilstrækkelig



Figur 1. Det nuværende acceleratorkompleks i CERN. LEAR er det forholdsvis lille anlæg forneden i billedet

mængde ville studiet af stof/antistof symmetrien kunne få nye og attraktive facetter. De skarpslebne metoder, der idag er udviklet til optisk spektroskopi af hydrogenatomet, vil kunne bruges til anti-hydrogen, med ekstrem præcision som målsætning. Hughes har fx påpeget, at energiforskellen mellem brintatoms grundtilstand og den metastabile $2s$ tilstand nu kendes med en præcision af 5 dele på 10^{10} . Den teoretiske grænse for nøjagtigheden af denne energimåling sættes af kvantemekanikkens ubestemthedsrelation, taget sammen med $2s$ tilstandens kendte levetid. Man er faktisk ret tæt på denne teoretiske grænse idag, nemlig mindre end end 5 størrelsesordener. Og en skærpelse af målenøjagtigheden er på vej, via laserteknologi og nye metoder til fremstilling af ultrakolde atomer (T.Andreae et al., 1992). Hughes bemærker iøvrigt, at en ultra-nøjagtig, sammenlignende måling af Rydbergkonstanten for brintatomet og anti-Rydbergkonstanten for antibrintatomet vil muliggøre en direkte sammenligning mellem størrelsen af den sædvanlige elektriske elementarladning og den tilsvarende ladning i antistofsystemet. Nøjagtigheden i en sådan måling vil kunne nærme sig den nøjagtighed, som man påberåber sig i det ovennævnte eksperiment med K^0 mesoner. Men medens Rydbergmålingen må siges at udgøre en ret direkte afprøvning af en CPT forudsigelse, så er bestemmelsen af K^0 masseforskellen en langt mere indirekte sag.

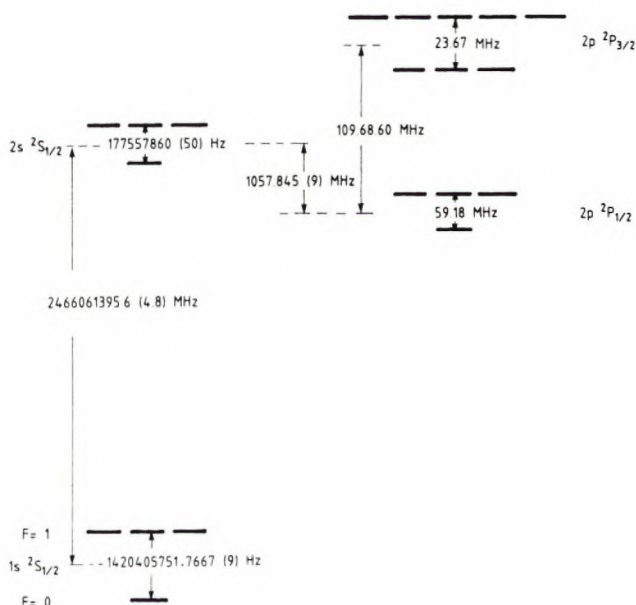
Symmetrien mellem stof og antistof rejser det spørgsmål, om partikler og anti-partikler falder med nøjagtig samme acceleration i tyngdefeltet. Faktisk har det været overvejet, om anti-partiklers gravitationsmasse kunne være lidt forskellig fra gravitationsmassen af de tilsvarende partikler, men direkte eksperimentelle resul-

tater glimrer ved deres fravær. Hynes (Los Alamos, 1988) har, blandt andre, foreslået eksperimenter ved LEAR, der direkte skulle måle antiprotoners gravitationsmasse med et flyvetidsforsøg. Eksperimentet vil støde på mange vanskeligheder, herunder ikke mindst nedkøling og langtidslagring af antiprotoner, hvis temperatur ikke må overstige nogle få grader Kelvin. Men selv om disse vanskeligheder en dag skulle blive overvundne, henstår det stadig i et forsøg med antiprotoner at undgå systematiske fejl hidrørende fra elektriske randfelter. Sådanne forstyrrelser ville kunne overskygge evt. små gravitationseffekter. Den vanskelighed vil være elimineret i et tilsvarende forsøg med det elektrisk neutrale antibrint. Inhomogene magnetiske felter vil dog stadig kunne påvirke et antibrintatom, via dets magnetiske moment, men sådanne magnetiske effekter vil ifl. Poth (Karlsruhe, 1988) kunne kontrolleres med stor nøjagtighed.

Er det overhovedet realistisk at forestille sig en produktion af atomart antibrint, i mængder der muliggør spektroskopi og undersøgelser af gravitationseffekter? Diskussionen om den sag har været levende i tiden inden beslutningen blev truffet om LEARs nedlukning, og en lang række ideer er bragt frem, ideer som altså nu kommer til at afvente fremkomsten af en LEAR jr. før de kan blive afprøvet.

I første omgang er det oplagt at kaste blikket på dannelse af et sædvanligt brintatom, ved simpel rekombination af frie protoner og elektroner. Den proces er en klassiker, men eksperimentelt er den på ingen måde et afsluttet emne. Rekombination af en elektron og en fri proton til et atom i grundtilstanden kan opfattes som den omvendte proces af foto-ionisering af et brintatom. Ved ioniseringen absorberes en foton, medens den samme foton udsendes

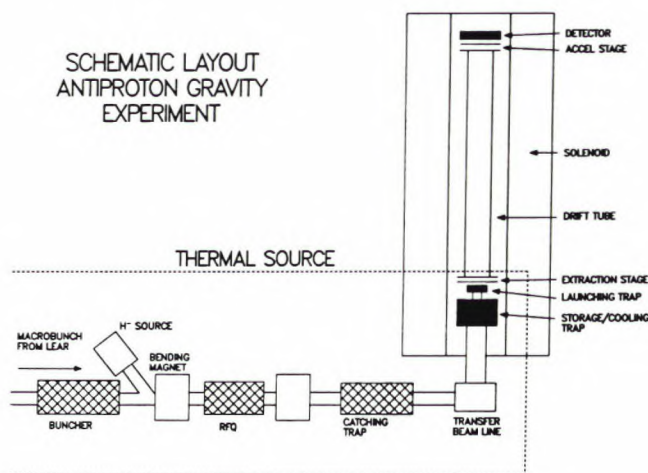
ved rekombinationen. Men fotonudsendelse fra et brintatom er en forholdsvis langsom proces, med karakteristiske tider af størrelsesordenen 10^{-9} sekund. Derfor er sandsynligheden for rekombinationsprocessen ret lav. Men det har tidligere været foreslået at sætte mere gang i processen ved bestråling med laserlys, hvor laserfotonernes energi er afstemt til fotonenergien i den atomare emissionsproces. En sådan laser-stimuleret rekombination er nu faktisk rapporteret i forsøg med blandede elektron- og protonstråler (U. Schramm et al. og F.B. Yousif et al., begge 1991), og resultaterne viser, at man vil kunne opnå en forøgelse af produktionstværsnittet med faktorer på flere tusinde. Og den forøgelse vil man få brug for, hvis man vil producere antibrint ved antiproton-positron rekombination under LEAR-lignende betingelser, dvs med en 5 MeV proton stråle blandet op med en intens positron stråle. Hughes anslår nemlig, at man uden laser-stimulering næppe ville kunne producere mere end nogle få antibrint atomer pr. sekund ved simpel rekombination. Det ville unægtelig være et spinkelt udgangspunkt for påfølgende atomspektroskopi.



Figur 2. De laveste tilstande i brintatomet (Poth, 1988). Frekvensen af 2s-1s overgangen er siden bestemt af Andreae et al. (1992) med en næsten 20 gange skærpet nøjagtighed. Efter udvalgsreglerne for elektrisk dipolstråling er denne Lyman overgang forbudt, og 2s tilstanden er derfor metastabil. Levetiden er ca. 1/8 sekund. Grundtilstanden af brint er en dublet, hvor (hyperfin) koblingen mellem elektronens og protonens spin resulterer i en opsplitning mellem en tilstand med totalspin 0 og en tilstand med totalspin 1. Overgangen mellem de to tilstande er den berømte 21 cm linie, der kendes fra astrofysikken.

Men der er andre veje, der muligvis kunne føre til Rom. Opmærksomheden har samlet sig om nedbremsning af antiprotoner til energier under 50 keV og påfølgende oplagring af antiprotonerne i et elektromag-

netisk bindingsfelt, en slags "fælde", der kan fastholde antiprotonerne over næsten ubegrænset lange tidsrum. I denne fælde kan antiprotonerne så nedkøles til energier svarende til nogle få grader Kelvin og fortsat fastholdes. Iflg. Zimmerman og Hänisch (Garching, 1993) har man allerede nu opnået at fastholde mere end 10^5 sådanne ultrakolde antiprotoner i timevis, produceret fra blot 12 pulser af 5 MeV LEAR antiprotoner. Det synes at være et realistisk perspektiv at kunne producere et lager af ultrakolde antiprotoner i et antal, der overstiger det ovennævnte med flere størrelsesordener, og med lagringstider af størrelsesordenen måneder, og indenfor ret små voluminer, dvs med høj koncentration.



Figur 3. Skitseforslag af en opstilling til måling af antiprotonens masse i tyngdefeltet (fra Hynes, 1988).

Men der skal jo også positroner til for at producere antibrint, og positroner må man hente enten fra intense, radioaktive kilder eller via accelleratorreaktioner. Og ligesom med antiprotoner kan man nedbremse positronerne, indfange dem i en elektromagnetisk fælde og nedkøle til lave temperaturer. Også her er perspektivet, at man kan opnå høje koncentrationer og lange lagringstider. Endemålet er at frembringe et koldt, neutralt plasma af en blanding af ultrakolde positroner og antiprotoner, hvor antipartiklerne kan vekselvirke via en proces, hvori indgår tre af slagsen: antiproton + positron + positron $\rightarrow$ antibrint + positron. Pointen er, at den overskydende energi ved dannelsen af atomet her bæres væk af en antipartikel, positronen, og ikke af en foton. Og (anti)partikeludsendelse er en langt hurtigere proces end fotonudsendelse, således at reaktionssandsynligheden bliver større. Gabriele (1988) anslår, at udbyttet af antibrint fra ovenstående tre-komponentproces ved 4 grader Kelvin vil være omkring 6 størrelsesordener større end det tilsvarende udbytte for rekombination med fotonudsendelse.

En alternativ metode til fremstilling af antibrint har været foreslået af en fysikergruppe i Århus (B. Deutch m.fl., 1993). Deres ide er at først binde positronen i positronium (det ustabile "atom", der dannes ved gensidig binding af en elektron og en positron) og derefter producere antibrint ved reaktionen: antiproton + positronium $\rightarrow$ antibrint + elektron. Tværsnittet for denne proces er meget stort, og svarer groft set til den geometriske udstrækning af positronium. Og den geometriske udstrækning af positroniumsystemet vokser jo med systemets hovedkvantetal, jfr. udstrækningen af de såkaldte Rydberg-atomer med hovedkvantetal i området 50-100. Århus-gruppen foreslår at udnytte denne Rydberg-effekt til at danne antibrint ved en proces, der involverer positronium i en højt anslået tilstand. Der er dog også ulemper ved positronium ideen, ikke mindst positroniums instabilitet overfor gensidig annihilation af elektron og positron.

Tanken - eller måske snarere drømmen? - om antibrint er tæt knyttet til tidens avancerede accelerator- og deceleratorteknologi. I tilfældet LEAR starter produktionen af antibrint med en stråle af ca. 26 GeV protoner, rettet mod et passende target. Fra target kommer så antiprotoner i energiområdet 3-4 GeV, som derefter i en række decelerationstrin ender som en fokuseret 5 MeV stråle i lagerringen. Det er en kunst at kunne nå så vidt, uden for store tab af (anti)partikler og med bevarelse af strålekvaliteten (fokusering, emittans m.v.). Som det fremgår af ovenstående, er man godt igang med udvikling af ny kunsthæderlig teknik, der kan nedkøle (anti)partiklerne yderligere, inden man anbringer dem næsten permanent i et ultrakoldt regie. Ganske mange raffinerede metoder er opfundet til disse formål, nogle er allerede blevet til rutine, mens andre stadig udvikles videre. Rimeligt nok er det blevet til en nobelpris i den forbindelse (van der Meer, 1984).

For ti år siden kunne man sige om ambitiøse eksperimenter med antibrint, at de var så vanskelige, at de reelt var uden for rækkevidde. I dag er forsøg med antibrint stadig vanskelige, men fagfolk bedømmer dem dog nu til at være indenfor mulighedernes horisont. Hvis altså ellers

LEAR havde været i live og havde været i god form. Efter LHC beslutningen er modet dog nok faldet en kende...

Jeg har ikke forudsætninger for at vurdere rimeligheden af den beslutning, der inkluderede annihilationen af LEAR. Måske har denne lagring og dens brugerkreds ikke levet helt op til CERNs forventninger, jeg tør ikke sige det. Antibrint var jo langt fra det eneste projekt ved LEAR. Jeg vil overlade vurderingen til William Shakespeare. "Ondt har jeg lidt", siger hans Kong Lear, "mod mig er syndet mere, end jeg har syndet"³.

Referencer:

- 1) R.J. Hughes, Antihydrogen in a New Light, *Nature* 353, 700, (1991)
- 2) R.J. Hughes, Fundamental Symmetry Tests with Antihydrogen, *Nuclear Physics, A* 558, 605c, (1993)
- 3) W. Shakespeare: *King Lear* (1607), (Tredie akt, anden scene)
- 4) Denne oversigt dækker et bredt felt og mange arbejder. Hughes's artikler giver et godt udgangspunkt. Dybt interesserede kan kontakte mig og få en længere referenceliste. O.N.



Ove Nathan er professor ved Niels Bohr Institutet. han har tidligere arbejdet med eksperimentel kernefysik. Universitetsrektor i en årrække. Nuværende interesse: fysik, i bred forstand.

FRA VORT STORE PROGRAM

VARIAN

Turbopumper
Ionpumper
Oliediffusionspumper
Læksøgere
Vacuum måleudstyr
UHV & HV fittings

DCA Instruments

Fremstilling af UHV anlæg til:
Sputterprocesser
MBE
Tyndfilm deponering
Overfladeanalyse
samt kundespecificeret UHV kamre

Lake Shore Cryotronics

Lavtemperatur kontrollere
& sensorer
Elektromagneter & strømforsyninger
Gaussmetre & Hall elementer
VSM (vibrating sample magnetometer)
AC/DC magnetometer - susceptometer

Oxford Applied Research

Reaktive atomkilder
Mini E-beams
Quartz micro vægte
Ioniserede doping
K-celler
Substratholdere i
UHV udførelse
Rheed Guns
Magnetronkilder
Ion cleaning Guns
Fokuserende
elektronkilder
Scanning Ionkilder

Leda - Mass

Quadrupoler / RGA
Windowsbaseret software
Specielt design til
sputterprocesser
ion implantering
tyndfilm
optisk coating
acceleratorer
overfladeanalyse m.m.

APD cryogenics

Close cycle kryostater ned til 6,5 °K
Open cycle kryostater ned til 2 °K
Cryotiger fra 80 °K til 120 °K
Kryopumper

AAGE CHRISTENSEN A/S

Skelmosevej 10, DK-2500 Valby Tlf. 36 44 24 44 Fax 36 44 20 24



Fysik i uddannelserne – Uddannelserne i fysik

Dansk Fysisk Selskabs Sektion for uddannelse og undervisning indbyder til konference om *Fysik i uddannelserne – Uddannelserne i fysik*, den 2/11 til 3/11 1995 på Karrebæksminde Feriecenter

Konferencens formål er at samle fysiklærere fra alle undervisningsniveauer til en diskussion af formål, indhold, problemer og sammenhænge i den danske fysikundervisning – fra natur/teknik i 1. klasse til universitetsfysik.

Der vil på konferencen være indlæg fra undervisere fra alle niveauer med henblik på at danne baggrund for en debat om de kvalifikationer, vi forsøger at give vore elever/studerende.

Formanden for Det naturvidenskabelige Uddannelsesråd, Erik Meiniche Schmidt, vil på konferencen give sin vurdering af fysikundervisningens placering i det samlede uddannelsessystem.

Prisen for konferencen, der starter torsdag kl. 14 og

slutter fredag efter frokost er 725 kr.

Detaljeret program for konferencen kan fås ved henvendelse til Erik Both, Fysisk Institut, bygn. 307, DTU, 2800 Lyngby, tlf 45 25 31 51.

Sektion for Uddannelse og Undervisning

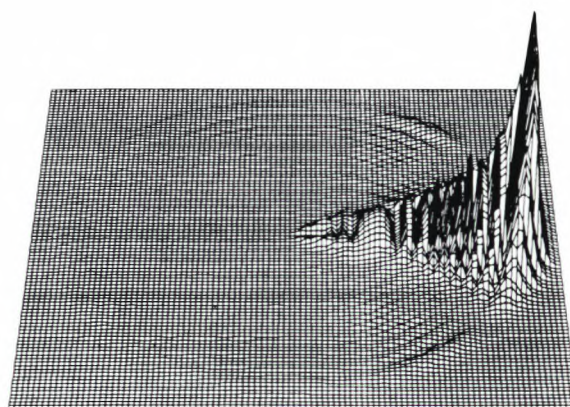
Dansk Fysisk Selskab er oprindeligt dannet som et kontaktforum mellem universitetsfysikere. Selskabet havde fra starten en række sektioner, der interesserede sig for forskellige forskningsområder. For 7 år siden dannedes en yderligere sektion "Sektion for Uddannelse og Undervisning", hvis formål er at samle undervisere fra alle de niveauer, hvor fysikundervisning foregår. Sektionen har hidtil afholdt 4 todageskonferencer, hvor emnerne har været valgt således, at undervisere fra alle niveauer har kunnet deltage. Ud over det pædagogiske udbytte har disse møder medvirket til en forbedret kontakt mellem niveauerne.

Korrespondensprincippet diskrete charme Rettelse.

Mads Hammerich, redaktør.

I KVANT, 1,(1995) blev der ved en fejltagelse sat et forkert billede i Ove Nathans artikel om eksperimentel test af korrespondensprincippet mellem kvantemekanik og klassisk mekanik. Den rigtige figur, og sammenhængen, følger her:

"Rochester-gruppen har arbejdet i mere end et årti med lokalisering af elektron bølgepakker i Rydberg-atomer, i forskellige varianter. Således illustrerer fig.5 et arbejde fra 1988, hvor en bølgepakke lokaliseres i vinkelkoordinaterne, men ikke radielt. Bølgepakken er igen praktisk taget en minimum-pakke, opbygget af $n = 50$ tilstande. Bølgepakken kan følges eksperimentelt under flere omløb af en Kepler-bane, indtil dens kohærens ødelægges ved strålingshenvælgelse eller ved atomare sammenstød."



Figur 5. Ved en kohærent superposition af Rydberg-tilstande kan man opbygge en bølgepakke, der er lokaliseret i vinkelkoordinaterne, men ikke radielt. Figuren er beregnet, et slags computerekperiment, hvor bølgepakken er mikset sammen af tilstande i natriumatomet med højt hovedkvantetal, $n=50$, og med store impulsmomenter. Rigtig eksperimentelt, kan en sådan tilstand skabes ved en kombination af en optisk excitation og et passende radiofrekvens-felt. Når rf-feltet er fjernet, vil bølgepakken kunne fortsætte i nogen tid i en klassisk banebevægelse. Eksperimentelt kan man efterfølgende studere bølgepakkens bevægelse ved at ionisere atomet med et kortvarigt elektrisk felt, og derefter iagttage ioniseringssignalet. Ioniseringsstyrken afhænger bl.a. af bølgepakkens position i banen.

Meddelelser fra Dansk Fysisk Selskab

Årsmødet 95

Over 230 medlemmer deltog i Dansk Fysisk Selskabs 1995 årsmøde, som blev afholdt på Odense Universitet fra 31/5 til 2/6. Foruden en række inviterede plenumforedrag blev der afholdt 4 parallelle foredragsrækker, hvoraf Atomfysik sektionen og Astronomisk udvalg stod for hver én, og Faststoffysiksektionen for 2. I alt modtog Atomfysiksektionen 25 bidrag, Astronomisk udvalg 34 bidrag, Faststoffysiksektionen 64 bidrag og 'Netværk for Kvinder i Fysik' 5 bidrag. Derudover var der 9 bidrag indenfor generel fysik. Poster-sessionerne blev vel besøgt og gav god lejlighed til dyberegående faglige diskussioner. Flere firmaer var mødt op og fremviste deres udstyr for medlemmerne. Torsdag aften blev NKT's forskerpris overrakt af forskningsminister Frank Jensen til Århus forskerholdet F. Besenbacher, E. Lægsgaard og I. Stensgaard for deres indsats indenfor skanning tunnel mikroskopi. Efterfølgende kunne medlemmerne nyde en velarrangeret og velsmagende middag på Brandts Klædefabrik midt i Odense by. Årsmødet forløb godt, gamle kontakter blev frisket op og nye blev dannet.

Generalforsamlingen

Dansk Fysisk Selskab's generalforsamling blev afholdt på Odense Universitet i tilknytning til årsmødet. Generalforsamlingen varede lidt over en time og 38 medlemmer var mødt op.

Formandens beretning:

- * Formanden gennemgik forholdet omkring European Physical Society (EPS). Der søges en person som ønsker at påtage sig kontakten til EPS gennem en længere periode end den normale 3 årige valgperiode for bestyrelsesmedlemmer - ingen meldte sig.
- * Der er blevet oprettet en World Wide Web (WWW) server for Dansk Fysisk Selskab hvor programmer, mødeindkaldelser e.t.c. kan læses. Serveren har indtil videre adressen <http://dfswww.fysik.dtu.dk:8080/dfs>
- * Formanden lagde op til en diskussion omkring DFS' struktur, og efter en del diskussion blev var stemningen for at beholde den nuværende struktur med en hovebestyrelse og sektioner med selvstændige bestyrelser. Der blev fremsat ønske om et højere informationsniveau omkring årsmødet, og om at kommunikationen i hele DFS' ledelse, herunder sektionerne, skulle strammes op. Dette blev taget ad notam af bestyrelsen.
- * Formandens beretning blev godkendt.
- * Kasserer Allan Sørensen redegjorde for DFS' 94 regnskab (vedlagt). Regnskabet blev godkendt.
- * Der var ingen kontingentændringer (se i øvrigt næste side 'kontingenter')

Information fra Sektionerne

'Netværk for kvinder i fysik'

Netværket har nu ca. 110 medlemmer. I det forløbne år har bestyrelsen hovedsageligt arbejdet med at udgive tre nyhedsbreve samt være med til at arrangere årsmødet, der i år fandt sted på Odense Universitet 31. maj. Mødet havde ca. 25 deltagere og var en vellykket blanding af faglige foredrag og diskussion af kvindelige fysikers oplevelse af universitetsmiljøet. Det sidste skete med udgangspunkt i et foredrag af Mildred Dresselhaus, MIT. Sektionen ønsker at gøre opmærksom på, at KIF årsmøder også er åbne for ikke-medlemmer.

'Atomfysiksektionen'

Atomfysiksektionen har i det forløbne år ikke afholdt møder. Sektionen planlægger sammen med DOPS at afholde et lasermøde i 1996 som en fortsættelse af mødet fra 1994.

'Faststoffysiksektionen'

Der har i det forløbne år været afholdt tre bestyrelsesmøder, der hovedsageligt har beskæftiget sig med årsmødet.

'Astronomisk Udvalg'

Dansk astronomi gennemgår omfattende ændringer i disse år, hvorunder der sker en tilnærmelse til fysikken. Dette sker ikke blot ved oprettelse af de ny, forenede institutter i Århus og København, men også rent fagligt indenfor teoretisk og både jord- og rumbaseret eksperimentel forskning. Bl.a. derfor holder astronomerne nu deres årlige møde sammen med DFS. I Odense spændte foredragene over emner fra meteoritter og solfysik til kosmologi og instrumenter. På et diskussionsmøde blev der også taget initiativ til en mere konkret planlægning for det næste tiår. Nogle håber, at dette med tiden vil give DFS en livlig astronomi/astrofysik-sektion.

Kontingenter

Ordinært kontingent andrager 325 kr årligt, mens kontingent for studerende og pensionerede medlemmer beløber sig til 75 kr. På DFS' generalforsamling 3. juni 1994 blev det besluttet, at kontingentet for Ph.D.-studerende fra og med 1995 sættes til studentertakst, altså 75 kr pr. år. Det årlige gebyr for individuelt EPS medlemsskab beløber sig til 250 kr (prisen er 58 Sfr.; under hensyntagen til den aktuelle vekselkurs, er der foretaget en mindre justering af krone-beløbet i forhold til tidligere).

Når man skifter medlemskategori skal dette meddeles Bjarne Andresen, Ørsted Instituttet, Universitetsparken 5, 2100 København Ø. Indberetning, der så vidt muligt bedes foretaget i god tid inden udsendelse af kontingentopkrævning (februar), kan foretages pr. post, pr. fax på nr. 3532 0460 eller pr. e-mail på adressen: andresen@fys.ku.dk

Henvendelser vedrørende allerede indbetalt kontingent bedes rettet til Allan Sørensen, institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet, 8000 Aarhus C (fax: 8612 0740, e.mail: ahs@dfi.aau.dk).

DANSK FYSISK SELSKAB
Årsregnskab 1994

INDTÆGTER

DFS og EPS kontingenter	157.115,00
Renter bankkonto	2.040,80
Renter girokonto	773,10
INDTÆGTER IALT	159.928,90

UDGIFTER

DFS administration:		
Medhjælp	7.025,00	
Gebyrer, papir m.v.	4.215,55	
Repræsentation	<u>599,85</u>	11.840,40
EPS:		
EPS indv. medlemskab 1994	17.259,09	
EPS DFS-medlemskab 1994	<u>27.068,81</u>	44.327,90
KVANT:		
KVANT 1994 (720 x 75kr)		54.000,00
DFS Årsmøde		
Mødeindtægter	280.917,00	
Mødeudgifter	<u>279.690,74</u>	
Mødeoverskud	1.226,26	
Mødeoverskud overført fra 1993	76.269,73	
Overskud ialt overført til 1995	<u>77.495,99</u>	0,00
USS		
Mødeindtægter	38.388,00	
Mødeudgifter	<u>37.871,00</u>	
Mødeoverskud	517,00	
Bestyrelsesmøder	<u>1.293,50</u>	776,50
AS DOPS del i underskud LASER-94		5.000,00
Netværk for kvinder:		
Mødeudgifter		693,00
Østeuropa:		
Academia Europaea		19.798,10
Rejser for unge fysikere:		
Physica Scripta legat 1994	8.228,00	
Overført fra 1993	3.869,00	
Overskud ialt overført til 1995	<u>12.097,00</u>	0,00
UDGIFTER IALT		136.435,90
OVERSKUD		23.493,00
		159.928,90

DANSK FYSISK SELSKAB
STATUS 31.12 1994

AKTIVER

Indestående bank	131.745,54
Indestående giro	121.711,12
Kassebeholdning	3,50
Renter tilskrevet bank pr. 31.12.94	2.040,80
Udestående DFS-kontingenter (indb. i 95)	1.970,00
Tilgodehavende vedr. årsmødet (indb.i 95)	56.665,00
AKTIVER IALT	314.135,96

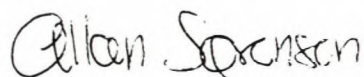
PASSIVER

Skyldige EPS indv. medlemsgebyrer	1.375,59
Skyldig retur-gebyr for årsmødet	1.300,00
Årsmøde overskud overført til 1995	77.495,99
Physica Scripta rejsetilskud overført til 1995	12.097,00
Fysisk Tidsskrift mellemregning	4.922,40
KVANT mellemregning	14.000,00
PASSIVER IALT	111.190,98

KAPITALKONTO

Saldo pr. 1. januar 1994	179.451,98
Overskud 1994	23.493,00
KAPITALKONTO IALT	202.944,98
SUM=AKTIVER	314.135,96

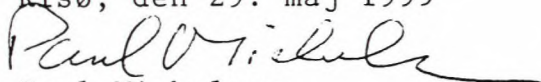
23. maj 1995



Allan H. Sørensen
Kasserer

Bilagene gennemgået og beholdningernes tilstedeværelse konstateret.

Risø, den 29. maj 1995


Poul Michelsen

Vejledning for forfattere

Redaktionen af KVANT modtager meget gerne artikler fra læserne. Indholdet af artiklerne bør være forståelig for personer med interesse for fysik – således at en god gymnasieelev vil få noget ud af at læse artiklen. Illustrationer til artiklerne er meget velkomne.

Det er håbet, at der vil komme en række rubrikker – der er allerede en debatside, som er åben for indlæg om alt hvad der rører sig om fysik. Bladet vil også bringe meddelelser fra Dansk Fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse, ligesom omtale af arrangementer, der kan have interesse for fysikinteresserede vil blive bragt. Da der kun kommer fire numre om året skal der gives meddelelse om et givet arrangement i god tid, hvis det skal kunne komme med i bladet. Redaktionen vil også stræbe efter at kunne bringe korte notitser med friske nyheder og anmeldelser af bøger af interesse for fysikere.

Vejledning i udformning af artikler til KVANT

For at lette produktionen modtages artikler helst på elektronisk facon. Det kan enten være som elektronisk post til e-mail adressen

kvant@nbivax.nbi.dk

eller (hellere) på en DOS-formatteret diskette, der sendes til

KVANT
c/o Mads Hammerich
Gersonsvej 40
2900 Hellerup

eller afleveres til et redaktionsmedlem sammen med eventuelle figurer, og – *meget vigtigt* – et billede og en præsentation af forfatteren, i stil med de præsentationer,

der findes i slutningen af hver artikel i dette nummer.

Teksten kan være skrevet i $\text{\LaTeX}$, som ren ASCII fil, i WordPerfect eller Word. De første formater foretrækkes.

Formler og specielle symboler kan indsættes i teksten med $\text{\LaTeX}$ eller $\text{\TeX}$. De modtages dog under alle omstændigheder også gerne på papir.

Illustrationer og billeder til artiklerne afleveres separat – det er (endnu) en kvalitetsmæssig fordel at indsætte disse i artiklen på sædvanlig facon. Undlad venligst at afsætte plads til dem i teksten, men placer figurforklaringen til sidst eller for sig selv.

Tabeller og opstillinger ønskes som simple opstillinger med tabulatorer. Brug ikke for megen energi på at lave “snedige” opstillinger med linier og lignende, men vis gerne på papir hvordan du selv ville foretrække det.

- Forfatternavne skrives med kursiv.
- Afsnitoverskrifter skrives med fed skrift.
- Der er ingen tomme linier mellem afsnit, men de indledes med en indrykning (tabulering).
- Referencer anføres i teksten med et løftet ciffer, og anføres til sidst i artiklen med nummer, forfatter, artikel (eventuelt bind-nummer med fed skrift), sidetal og årstal i parentes.
- Husk et billede og en kort præsentation af forfatteren.
- Forfattere der skriver i $\text{\LaTeX}$ kan rekvirere en skabelon, at skrive i, hos redaktionen.

Abonnement på KVANT

koster 135 kr for en årgang og vil blive opkrævet pr. giro. Nye abonnenter vil modtage eventuelle tidligere numre af den løbende årgang. Medlemmer af Dansk Fysisk Selskab og Selskabet for Naturlærens Udbredelse vil modtage bladet som et medlemsblad.

Hvis du mener at du har abonnement, men ikke får bladet – har du nok glemt at melde flytning af bladet hos dit lokale postkontor, eller måske har du ikke betalt. Bemærk at flytning af KVANT skal meddeles postvæsenet eksplicit!

Abonnement tegnes ved at skrive til

Lene Körner, Matematisk Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø, e-mail: koerner@math.ku.dk



Crafoord Prisen til Willi Dansgaard og Nicholas Shackleton.

Crafoord prisen for 1995 vil den 28 september blive overrakt Willi Dansgaard og Nicholas J. Shackleton. Prisen uddeles af det Kongelige Svenske Akademi og består af en guldmedalje og 2,8 mill svenske kroner.

Willi Dansgaard får prisen for analyser af den stabile ^{18}O isotop af ilt i borekerner fra indlandsisen. Disse analyser har forøget kendskabet til de sidste 160.000 års klima væsentligt. Nicholas Shackleton får prisen for sine analyser af dybhavssedimenter. Disse undersøgelser giver en

relation mellem klimavariationer og ændringer i forholdet mellem de forskellige iltisotoper og har ført til en klimakurve for de sidste 2,4 millioner år.

På Ivars Silis' billede ses Greenland Ice Core Project's borelejr på indlandsisens højeste punkt, Summit. Herfra blev en borekerne på 3028,8 meters længde med is der daterer sig en kvart million år tilbage, hentet op i 1990-1992.