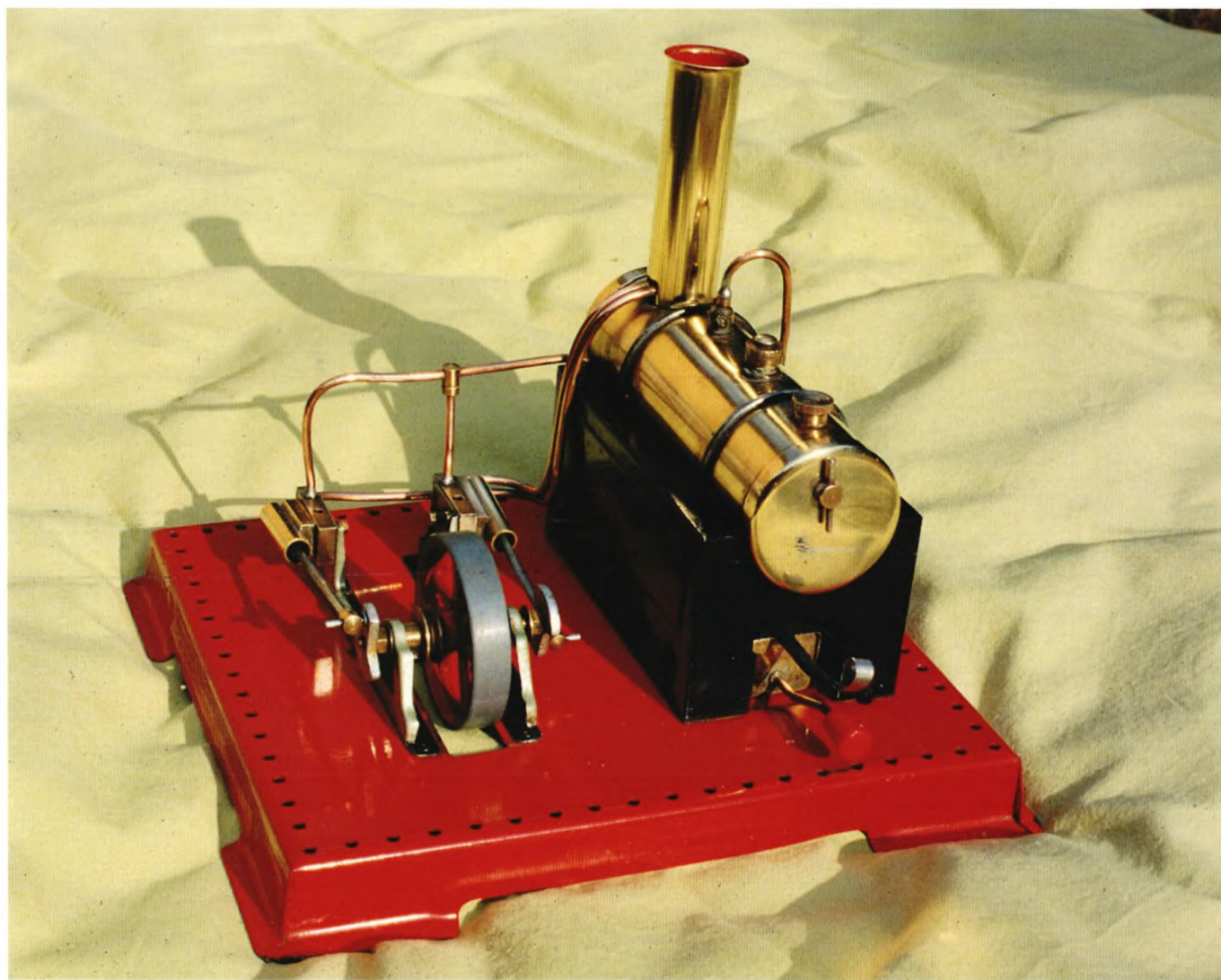


KVANT december 3 1992

Fysisk Tidsskrift

3. årgang



ENERGI: NOGET ER BEVARET • NEUTRONDIFFRAKTION • ÅRETS NOBELPRIS • POINTER
OM FYSIKUNDERVISNINGEN • BOHR'S HESTESKO • ELEKTRISK LEDENDE POLYMERER •
FYSIKLEGESTUEN I SKOTLAND • MATEMATIK I ÅR 1800 F.V.T.

LØSSALGSPRIS: 35 KR

KVANT

Fysisk Tidsskrift

c/o Institut for fysik og astronomi
Ny Munkegade
Aarhus Universitet
DK-8000 Århus C

Telefax : 86 12 07 40
E-mail : kvant@dfi.aau.dk
Giro : 5 84 31 46

Udgives af



Dansk
Fysisk
Selskab

Selskabet for
Naturlærens
Udbredelse



Redaktion

Jørgen Friis Bak (ansv.)
Det naturvidenskabelige fakultet
Århus Universitet
Jørn Christiansen
Torsten Freltoft (annoncer)
NKT Research Centre
Mogens Esrom Larsen
Matematisk Institut
Københavns Universitet
Finn Berg Rasmussen
Fysisk Laboratorium
Københavns Universitet
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 repro-
klart materiale. Henvendelser om annoncer til
Torsten Freltoft, NKT Research Centre,
telefon 43 48 35 69, telefax 43 63 00 99.

Oplag: 2000

Tryk: AKA-print

ISSN 0905-8893

Indhold:

Energi: Noget er bevaret

Bent Elbek 1
Energi er et af de mest fundamentale begreber i fysikken - men det er samtidig findes der ikke en kort og klar definition på hvad energi er. Energi dukker op i mange sammenhænge, og artiklen beskriver hvorledes fysikerne, specielt i det sidste århundrede, erkendte energiens natur.

Måling af indre spændinger ved hjælp af neutrontdiffraktion

Torben Lorentzen 10
Når et materiale udsættes for belastning vil der opstå deformationer. Det er vigtigt at tage hensyn til disse deformationer, når en ny konstruktion skal udvikles. Neutrontdiffraktion er et nyt værktøj til at undersøge materialers opførsel, når de belastes.

Årets Nobelpris i fysik

Jørgen F. Bak 15
George Charpak fra CERN modtager årets Nobelpris i fysik for udviklingen af multiwirekamrene.

To pointer

Jens Højgaard Jensen 17
Hvad vi skal stille op med fysikundervisningen på de videregående uddannelsesinstitutioner?

Havde Niels Bohr virkelig en hestesko over døren til sit sommerhus?

Mogens Esrom Larsen 20
Anekdoten om at Niels Bohr havde en hestesko hængende, selvom han ikke troede på den, er velkendt. Men er den sand?

Elektrisk ledende polymerer

Anders Ravn Sørensen 21
Normalt tænker vi på metaller som elektriske ledere og plastmaterialer som isolatorer. Men det kan også lade sig gøre at lave elektrisk ledende plastmaterialer ved at tilføre materialet en lille smule af andre grundstoffer.

AEG elektronprisen 1992

K.G.Hansen 24

Legestuen i Skotland

Jesper Nygård 25

Matematikundervisningen omkring år 1800 f.v.t.

Mogens Esrom Larsen 27
For næsten 4000 år siden kendte man allerede vanskelige matematiske opgaver - og deres løsning. Vi kender dem fra lertavler og papyri.

Forsiden:

Begreberne energi og entropi kan føres tilbage spekulationer over dampmaskinens virkemåde i årene 1824-1850. Det har derfor været sagt, at videnskaben skylder dampmaskinen meget mere, end dampmaskinen skylder videnskaben.

Energi: Noget er bevaret

Bent Elbek, Niels Bohr Institutet

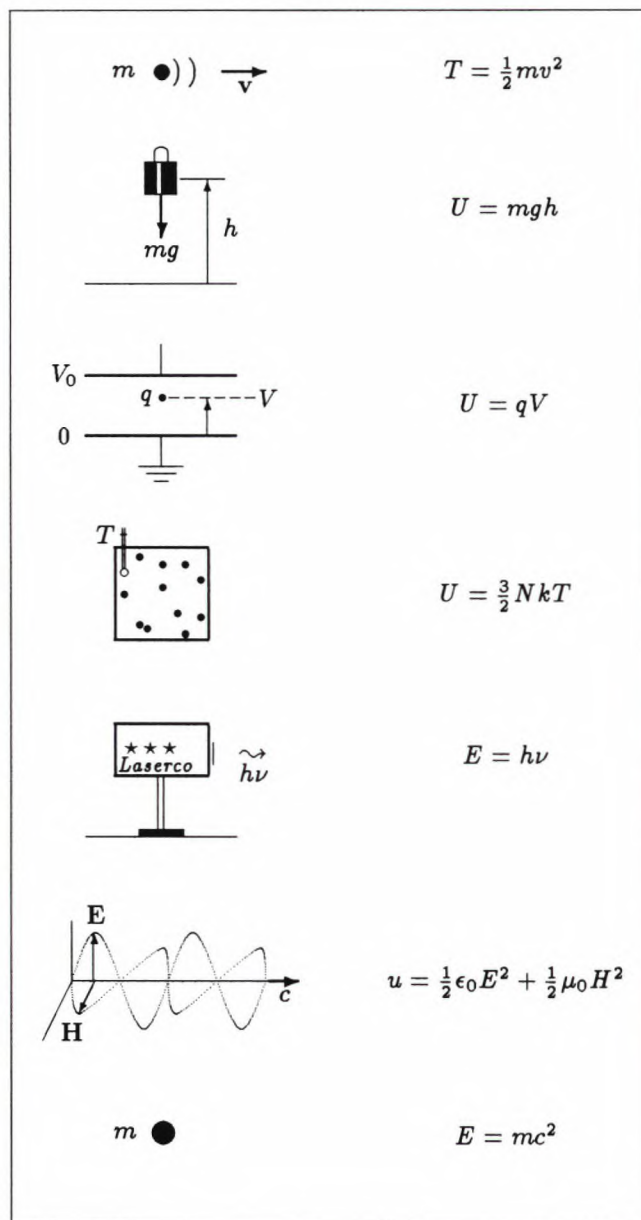
Hvad er energi?

Energi er nok det vigtigste begreb, som sammenbinder naturvidenskabens forskellige grene. Begrebet blev udviklet inden for fysikken med oprindelse i simple mekaniske overvejelser sent i 1600-tallet. Det store spring fremad kom imidlertid meget senere, i midten af 1800-tallet, da man indså, at *varme* var energi knyttet til bevægelsen af de myriader af atomare partikler, som opbygger alt stof. På det tidspunkt kom den monumentale opdagelse, eller måske rettere, det dristige postulat, at energi altid er bevaret. Én slags energi kan omdannes til andre slags, men intet tabes nogensinde.

Siden da har energibetragtninger været uundværlige ved beskrivelsen af den måde gasser, væsker og faste stoffer opfører sig på. Sådanne materialer må opfattes som ansamlinger af partikler, som det fra et rent *mekanisk* synspunkt er overordentlig kompliceret at beskrive. Men de kan enkelt og elegant behandles med *termodynamikkens* generelle metoder. Termodynamikken kan formuleres sådan, at der udelukkende optræder makroskopiske størrelser som tryk, rumfang og temperatur. Men i det mikroskopiske billede er varme bevægelse af atomare partikler, og dermed en af energiens mange former. Dette billede har været af umådelig betydning for forståelsen af alle slags processer i fysik, kemi og endog biologi. Denne forståelse kombinerer et atomistisk syn på stof med statistiske metoder, som gør det muligt at håndtere systemer sammensat af mange partikler. Den statistiske formulering af termodynamikken havde stor succes, som var stærkt medvirkende til, at atomer og molekyler blev accepteret som virkelige, og ikke blot som filosofiske enheder.

Det århundrede, som nu går på hæld, har givet to store bidrag til menneskets forståelse af den fysiske natur: Relativitetsteorien og kvantemekanikken. Begge teorier har udvidet og beriget energibegrebet. Fra relativitetsteorien fik vi den helt uventede ækvivalens mellem energi og masse udtrykt i Einsteins ligning $E = mc^2$. Fra kvantemekanikken kom den lige så overraskende kvantisering af energien. Kvanteteorien gav fysikken en ny universel konstant, virkningskvantet h , som har dimensionen energi gange tid. Kvantemekanikkens fundamentale Schrödingerligning forbinder hele den fysiske tilstand af et system med dets energi.

Kvanteteorien har været nøglen til forståelsen af stoffet i alle dets forskellige makroskopiske former: Gasser, væsker, faste stoffer og plasma. På mikroniveau har vi lært, hvordan atomerne er bygget og hvordan de kan indgå i kemiske forbindelser. Nogle af dem er simple, som et ammoniakmolekyle. Andre er overordentlig komplekse, som stormolekylerne af visse proteiner, der kan indeholde hundred tusinder af atomer. Kvanteteorien har givet indsigt i, hvad der foregår dybere i atomet. Vi forstår ganske meget



Energiens mange former

af det, som foregår i atomets tunge kerne og er godt på vej mod en forståelse af opbygningen af de indgående partikler og af disse partiklers vekselvirkninger.

Energibegrebet har været helt centralt i alle disse udviklinger. Der findes ingen gren af fysikken, hvor betegnelsen *energi* ikke bruges igen og igen. Det er derfor en grundlæggende del af enhver fysikers uddannelse at lære at genkende og håndtere energistørrelser. På trods heraf er det vanskeligt at besvare det simple spørgsmål: *Hvad er energi?*

Hvordan kan det være, at energibegrebet, som forbinder alle fysikkens grene og dem i nabovidenskaberne, ikke kan gives en klar og tilfredsstillende definition? Det er sandt nok, at vi inden for ethvert område af fysikken forstår at udtrykke energi ved hjælp af andre størrelser. Der er *ligninger* til dette formål:

- Den *kinetiske* energi af en partikel med masse m og hastighed v er $T = \frac{1}{2}mv^2$.
- Anbringes partiklen i højden h over jorden, er dens *potentielle* energi $U = mgh$, hvor g er accelerationen i jordens gravitationsfelt.
- Hvis en punktladning q anbringes i et elektrisk felt ved potentialet V , eksempelvis mellem pladerne på en kondensator, bliver dens *elektrostatisk* energi $U = qV$.
- Hvis et mol af en ideal enatomig gas opvarmes til den absolutte temperatur T , er den *indre energi* fra bevægelsen af de $N = 6,02 \cdot 10^{23}$ atomer $U = \frac{3}{2}kNT$, hvor k er Boltzmanns konstant.
- Et lyskvantum (en foton) med frekvens ν bærer *strålingsenergi* $E = h\nu$, hvor h er Plancks virkningskvantum fra 1901.
- Hvis et elektromagnetisk felt i vacuum har den elektriske feltstyrke E og den magnetiske feltstyrke H , så er feltets *elektromagnetiske* energitæthed $u = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\mu_0 H^2$, hvor ϵ_0 kaldes vacuum-permittiviteten og μ_0 tilsvarende vacuum-permeabiliteten.
- Som et sidste eksempel: Hvis en partikel har masse m , repræsenterer den en *masse-energi* $E = mc^2$ efter Einsteins ligning fra 1905.

Alle disse formler og adskilligt flere er blandt de mest grundlæggende i fysikken og er velkendte af alle fysikere. Det kræver imidlertid en ganske god indsigt i emnet at forklare, hvordan hvert enkelt af de mange udtryk for energien egentlig kommer ind i fysikken, og hvordan de alle er forbundet med hinanden. Og selv en sådan indsigt bringer os ikke meget nærmere til et svar på det grundlæggende spørgsmål: *Hvad er energi?*

Ikke desto mindre, når så tilsyneladende forskellige størrelser som $\frac{1}{2}mv^2$, $\frac{3}{2}kNT$, qV og mc^2 alle opfattes som udtryk for en fælles egenskab, så er det selvfølgelig ikke uden grundlag. Enhedsopfattelsen hviler på to almene forudsætninger: For det første, at de mange forskellige former for energi kan omdannes til hinanden, i det mindste delvis. Og for det andet, at energi altid er bevaret.

Der er noget, som er bevaret. Det er, ifølge den franske fysiker og matematiker *H. Poincaré*, nogenlunde så nær, som vi kan komme en definition af *energi*. Unægtelig en

sløj definition for en videnskab, som er stolt af sine traditioner for præcision og stringens. Men, som engang bemærket af *H.H. Kramers*: Inden for den menneskelige tankeverden i almindelighed og inden for den fysiske videnskab i særdeleshed er de mest frugtbare begreber dem, hvortil det er umuligt at knytte en veldefineret mening.

Energibegrebets udvikling

Med nogle få bemærkelsesværdige undtagelser er videnskabens historiske udvikling ikke pædagogisk. Den følgende diskussion af energibegrebets udvikling er derfor ikke en lærd fremstilling på grundlag af de oprindelige kilder. Den skal snarere opfattes som et forsøg på at illustrere, hvordan vi efterhånden har lært at anvende energibegrebet inden for alle områder af fysikken og de andre naturvidenskaber. Energi er derved blevet et stort samlende princip for menneskets forståelse af naturen. Fremstillingen her bevæger sig naturligt nok fra simple til mere komplicerede situationer. Det afspejler den historiske udvikling, selv om den rute, der blev fulgt, var slynget og med mange blinde veje, som også måtte udforskes.

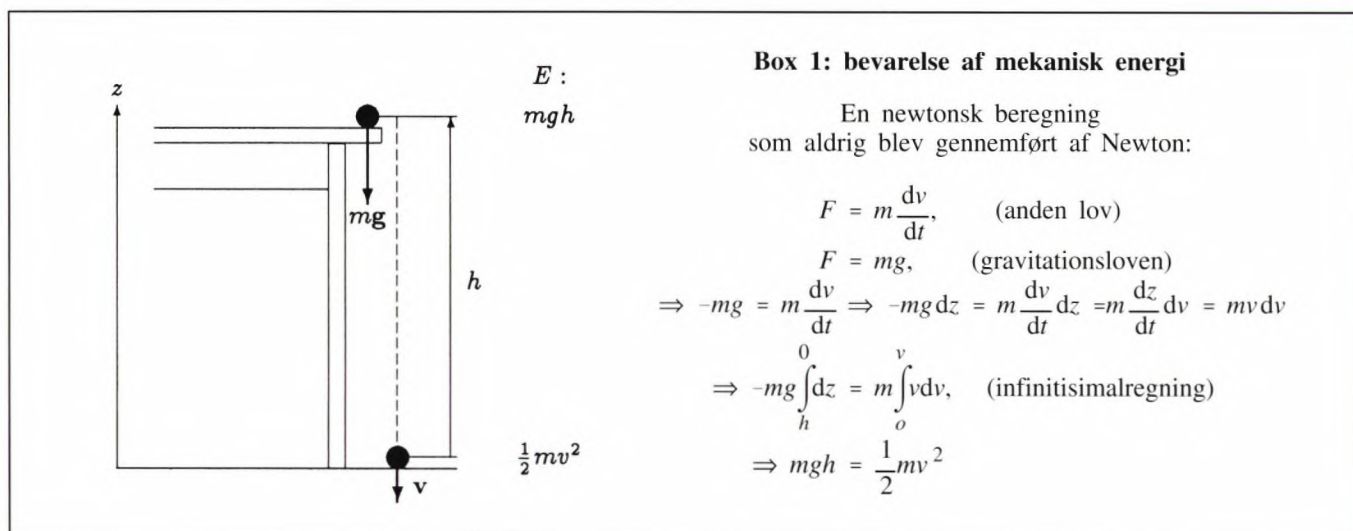
Mekanik

Energibegrebet er helt af mekanisk oprindelse, men det kom ind i mekanikken på et ret sent tidspunkt. Selv om den mekaniske fysik lod sig udvikle uden begrebet, kan man godt undre sig over, at energiens betydning ikke blev opdaget meget tidligere. *Isaac Newton* (1642-1727) kunne således godt have fundet bevarelsen af mekanisk energi, men ifølge flittige læsere af hans værker gjorde han det ikke.

Enhver førsteårs fysikstuderende kan i dag på nogle få linier udlede bevarelsesloven for mekanisk energi, altså at summen af potentiel og mekanisk energi er konstant, for eksempel for et frit faldende legeme. Beregningen bygger helt og alene på Newtons tre vigtigste bidrag til fysikken: Den 2. bevægelseslov, gravitationsloven og infinitesimalregningen. Det kan derfor være på sin plads at følge de ganske få trin i denne elementære udledning (se box 1).

Den sidste ligning i box 1 udtrykker, at et legeme med masse m , som oprindeligt er i hvile i en højde h , ved fald til jord vil opnå en kinetisk energi $\frac{1}{2}mv^2$, som er lig den potentielle energi mgh , det oprindeligt havde. Situationen lige før faldet, når legemet slippes løs, er selvfølgelig helt forskellig fra situationen lige før, legemet rammer jorden. Men ud fra et energisynspunkt er intet ændret i den forstand, at legemets totale energi er den samme. Mekanisk energi er en bevaret størrelse i dette og i alle andre tilfælde, hvor kræfterne er *konservative*. Det vil sige, at det arbejde, som udføres, er uafhængigt af den vej, som følges.

Videnskabshistorikere kan utvivlsomt give mange grunde til, at Newton ikke opdagede energi. For eksempel, at Newton intet sted har skrevet sin 2. lov. I det mindste ikke på formen kraft lig masse gange acceleration. (Dette er den slags desillusion man ofte oplever, når man studerer, hvad de store banebrydere egentlig sagde. Det illustrerer den tidligere påstand, at videnskabens historie sjældent er pædagogisk).



Nogle af Newtons samtidige var imidlertid nærmere ved at ramme plet. *C. Huygens* (1629-1695) og *G. W. Leibnitz* (1646-1716) kom gennem studiet af svingende penduler og kolliderende billardkugler til at erkende betydningen af størrelsen mv^2 , som blev kaldt *vis viva* (levende kraft), og gjorde brug af dens bevarelse.

Der er dog et stort skridt fra de tidlige tanker om bevarelse af *vis viva* til den almene lov om energiens bevarelse, som rækker langt ud over mekanikken. Men selv inden for mekanikken tog det tid at afklare betydningen af (og forskellen på) begreber som *kraft*, *arbejde* og det vi kalder *potentiel* energi, der alle er væsentlige for det mekaniske energibegreb. En lille, men afgørende detalje, som først sent kom på plads, er faktoren $\frac{1}{2}$ i definitionen af kinetisk energi (*G. Coriolis* 1829).

Selv om man ikke havde et klart mekanisk energibegreb, kom energi alligevel til at spille en vigtig rolle i en helt anden formulering af mekanikken. Denne skyldtes især en helt enestående gruppe af franske matematikere med centrum på *Ecole Polytechnique*. Den newtonske mekanik arbejder med vektorielle størrelser som kraft og impuls. Den anden mekanik, der i dag kendes som Hamilton-Lagrange formalismen, er baseret på en enkelt skalar funktion L , som er en energi. Er denne funktion kendt, udtrykt i passende koordinater, kan opførselen af selv meget komplicerede fysiske systemer beregnes med standard matematiske metoder. Et forhold som spiller en stor rolle inden for den statistiske mekanik og kvantemekanikken.

Energi er bevaret

Omkring 1840 var tiden moden for en af de vigtigste opdagelser i videnskabens historie: Loven om energiens bevarelse.

Det er ikke let at sige, *hvem* der opdagede energibevarelse. Sandt at sige opstod der en prioritetsstrid, som gav anledning til bitre beskyldninger mellem store fysikere, og som anslog primitive nationalistiske følelser.

I en klassisk afhandling nævner *T.S. Kuhn* fire europæiske videnskabsmænd: *J. R. Mayer* (1814-78), *J. P. Joule* (1818-89), *L. A. Colding* (1815-88) og *H. von Helmholtz*

(1821-94). Disse mænd fremsatte, stort set uafhængigt af hinanden, hypotesen om energiens bevarelse. Kuhn føjer yderligere navne til listen og konkluderer, at i alt tolv forskere inden for en kort tidsperiode havde forstået væsentlige dele af begrebet energi og af energiens bevarelse.

Tiden var moden. Der var den fra mange kilder opsamlende erfaring, at naturens forskellige "kræfter" kunne omdannes til hinanden. Kul kunne brændes i en ovn, som under en kedel gav damp, som kunne dreje en maskine. Batterier kunne, mod at metaller blev opløst i syre, skabe elektriske strømme, som igen kunne opvarme metaltråde og endda give lys. *H. C. Ørsted* (1777-1851) havde under sin søgen efter enhed i naturen opdaget, at elektriske strømme kunne bevæge en magnetisk nål. Inden for biologien var det kendt, at der var en sammenhæng mellem indåndingen af oxygen og legemets tab af varme.

Alle disse observationer pegede mod, at der i naturen var et underliggende, forenende princip. Det er derfor ikke overraskende, at flere personer mere eller mindre samtidigt skulle nå frem til loven om energiens bevarelse, selv om det skete ad meget forskellige veje.

I dag er princippet om energiens bevarelse fuldt accepteret inden for alle grene af naturvidenskaben. Det har været og er stadig, en ledestjerne, når videnskaben bevæger sig ind på jomfruelige områder. Undertiden har nye iagttagelser ført til, at princippet alene gyldighed er blevet betvivlet, selv af mænd som *Niels Bohr* (1885-1962). Men i alle tilfælde er overbevisningen om, at energien altid er bevaret til slut blevet styrket.

Termodynamik

Det var en væsentlig forudsætning for formuleringen af loven om energiens bevarelse omkring 1840, at det efterhånden var bredt accepteret, at varme er bevægelse af stoffernes molekyler. Energi og temperatur blev derved forbundet og man kunne skabe en sammenhængende ny teori, termodynamikken.

Loven om energiens bevarelse kaldes ofte termodynamikkens 1. hovedsætning. Den kan formuleres på forskellige måder. Én af dem er, at ændringen i et systems *indre energi*

Box 2: Termodynamikens 1. hovedsætning

Et fysisk system kan tilføres energi både ved at tilføre det varme og ved at udføre et arbejde på det. Derved forøges, hvad man kalder systemets *indre energi*. Første hovedsætning udtaler sig om ændringen ΔU i systemets indre energi, når det tilføres en varmemængde Q og et arbejde W :

$$\Delta U = Q + W.$$

Det er klart, at de tre størrelser må måles i energienheder. Undertiden skrives loven med et $-W$ inspireret af den praktiske situation, hvor en maskine udfører arbejde mod tilført varme. Med de her angivne fortegn understreges, at tilført arbejde og tilført varme på ligestillet måde bidrager til den indre energi.



Under alle omstændigheder er loven fuldstændig generel. Er systemet en gas, vil den indre energi i det væsentlige være den termiske kinetiske energi af molekylerne. For andre systemer kan den indre energi være (delvis) potentiel, være af kemisk natur eller være energi i form af elektromagnetisk stråling osv.

er summen af den varme og det arbejde, som er tilført systemet. Se box 2.

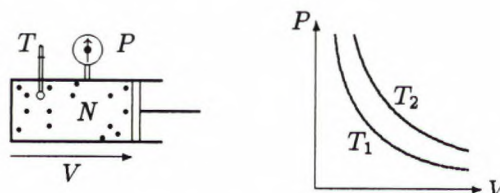
Den specielle brugbarhed af den indre energi U hænger sammen med, at den alene afhænger af systemets *tilstand*. Tilstanden af en given gasmængde kan, for eksempel, beskrives ved gassens tryk og volumen. Går vi fra en tilstand a til en anden tilstand b , kan vi følge mange forskellige tryk-volumen veje, som hver giver deres Q og deres W . Men summen af Q og W giver altid den samme ændring $\Delta U = U_b - U_a$ i indre energi. Man siger, at den indre energi er en *tilstandsfunktion*.

I ord kan 1. hovedsætning formuleres på flere andre måder: Energi kan ikke skabes eller tilintetgøres, kun omdannes. – Energien i et lukket system er konstant. – Et “perpetuum mobile af 1. art” er umuligt (en sådan indretning er en periodisk virkende maskine, som i hver periode leverer arbejde uden at modtage hverken varme eller andet arbejde) –. Alle formuleringerne er ækvivalente, men bidrager til at belyse forskellige aspekter af den 1. hovedsætning og til at give ordet “energi” mening.

Termodynamikkens fornemste træk er dens generalitet. Den beskriver *systemer*. Et system kan være næsten alt, som kan isoleres fra omgivelserne, og som indeholder mange partikler. Endog immaterielle partikler som *fotoner* lukket inde i en egnet kasse. Luften i en cykelpumpe, et batteri, en

Box 3: Tilstandsligning

Termodynamiken beskriver et fysisk system ved hjælp af nogle få makroskopiske variable som tryk P , volumen V og temperatur T . Andre variable kan bruges, men de tre nævnte egner sig godt til at beskrive grundlæggende termodynamiske systemer med gasser eller dampe.



De variable er ikke uafhængige. De er forbundet med relationer som kaldes *tilstandsligninger*. Tilstandsligningen for en *ideal gas*, hvor molekylerne kun vekselvirker gennem kortvarige elastiske sammenstød, er særlig simpel:

$$PV = nRT.$$

I denne ligning er n det antal mol, som betragtes, mens R kaldes gaskonstanten ($R=8,3143 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$). Sammenhængen mellem f.eks. P og V for fast T afbildes ofte ved kurver (isotermer) på et *PV-tilstandsdiagram* jvf. figuren.

stjerne, en atomkerne eller en mus er eksempler på systemer, som vi kan lære noget interessant om ved at bruge termodynamikkens metoder.

Termodynamik skulle efter ordets betydning beskrive systemer, der ændres med tiden. De vigtigste anvendelser af termodynamikken vedrører imidlertid systemer, som er i ligevægt, eller som kun ændrer sig langsomt. Termodynamikken er i det væsentlige en disciplin, som behandler systemer med forskellige temperaturer. *Temperatur* forekom inden for fysikken længe før termodynamikken, men har ingen mening i mekanikken. I termodynamikken er temperaturen et helt afgørende begreb.

Temperaturen optræder ikke direkte i den 1. hovedsætning. Denne kan betragtes som en bogholderiregel for energiomdannelser, *når* de finder sted, men som ikke kan fortælle *om* eller i hvilken udstrækning, de finder sted. For at udtale os herom behøver vi termodynamikkens 2. hovedsætning.

Historisk blev essensen af den anden hovedsætning opdaget af *Sadi Carnot* (1796-1831) i 1824, før den første lov var kendt. Det er interessant nok at notere, at mens englænderne havde travlt med at bygge de dampmaskiner, som skulle trække den industrielle revolution, så var det en fransk ingeniør, som satte sig til at fundere over, hvor

effektiv en sådan maskine kunne blive. Carnot påpegede, at det var temperaturforskellen mellem den varme kedel og den kolde kondensator, som var afgørende for den mængde arbejde, man kunne trække ud af maskinen. Kulde er således lige så væsentlig som varme, for at en dampmaskine kan fungere. Men Carnot gik videre end det. Han anviste også, hvordan en ideel maskine skulle virke, en maskine som, skønt den aldrig kan bygges, kan tjene som reference, når man skal bedømme ydeevnen af praktiske maskiner.

Carnots idealmaskine ligner i mange henseender en virkelig dampmaskine. Den fungerer periodisk i en kredsløbsproces, den henter varme ved en høj temperatur og den omsætter noget af denne varme til nyttigt arbejde, men aldrig fuldstændigt. Der vil være et principielt uundgåeligt varmetab til kondensatoren. Forskellen mellem den ideelle maskine og praktiske maskiner er, at den ideelle maskine er *reversibel*. Den køres så langsomt og forsigtigt, at den hele tiden befinder sig i en ligevægtstilstand. På ethvert sted i kredsløbsprocessen kan man stoppe og med en minimal påvirkning få maskinen til at køre baglæns. I en sådan reverseret maskine drejer man på akslen, og maskinen henter varme fra kondensoren og afleverer varmen til kedlen. Den baglæns kørende maskine er blevet en kølemaskine.

Det var Carnots fortjeneste at påpege, at ingen maskine kunne blive mere effektiv end den reversible. Ellers kunne man jo lade en forlæns kørende supermaskine trække en ideal maskine baglæns, hvilket ville være et perpetuum mobile.

Carnot kendte ikke den 1. hovedsætning. Men hans ideer blev senere udbygget under hensyn til energiens bevarelse af især *William Thomson* (Lord Kelvin, 1824-1907) og *Rudolph Clausius* (1822-88). Deres arbejde førte til formuleringen af termodynamikkens 2. hovedsætning og til indførelsen af et helt nyt begreb i fysikken: *Entropi*. Et navn som blev foreslået af Clausius i analogi til *energi*.

Energi, selv om det ikke er noget nemt begreb, er dog noget, vi til en vis udstrækning kan sanse, og hvorom vi ved daglig omgang med har fået en vis erfaring. Entropi er et meget mere flygtigt begreb. Selv inden for fysikken kan det være vanskeligt at fatte dets fulde mening, og inden for filosofi kan det erfaringsmæssigt let lede på vildspor.

Termodynamikkens 2. hovedsætning har ligesom den 1. fået en række forskellige, men ækvivalente formuleringer: Entropien af et lukket system vil aldrig aftage. – Varme kan ikke flyde fra et koldere til et varmere legeme. – Et "perpetuum mobile af 2. art" er umuligt. (Et sådant er en periodisk virkende indretning, som tager varme fra en enkelt varmekilde og omdanner den til arbejde). Termodynamikkens 2. lov er, som sagt af Max Planck, en konstatering af manglende evne.

Den slags bevægelse vi kalder varme

Tanken om, at varme er en slags bevægelse (translation, rotation eller vibration) af stoffets atomare dele, var omkring 1840 ikke ny. *Daniel Bernoulli* (1700-1782) gav således den første version af det, som skulle blive til den kinetiske gasteori. Men dette og andre forsøg bidrog ikke meget til

Box 4: Entropiens definition

Clausius udtrykte entropi ved hjælp af to størrelser, som allerede var kendt: Varme og temperatur. Hvis en lille varmemængde, dQ , på *reversibel* måde tilføres et system, som har den absolutte temperatur T , vil systemets entropi, S , ændres med

$$dS = 1/T dQ.$$

Overgår systemet fra en tilstand a til en tilstand b kan entropiændringen udtrykkes som

$$\Delta S = \int_a^b 1/T dQ.$$

hvor integralet kan beregnes for enhver reversibel vej fra a til b . Entropien S er nyttig, fordi den, som den indre energi U , er en tilstandsfunktion. Integralet fra a til b er uafhængigt af den valgte reversible vej. Er vejen lukket sådan, at man vender tilbage til udgangspunktet, er entropiændringen nul.

En reversibel proces er en abstraktion, som aldrig fuldt kan realiseres. Naturlige processer er *irreversible*, de kan ikke vendes om. En gas vil strømme fra en fuld til en tom beholder. Det sker aldrig, at molekylerne uden ydre indgriben strømmer tilbage, hvorfra de kom. Kastes en hed sten i en spand vand, går varmen fra stenen til vandet, og aldrig omvendt. En klods, som glider på et underlag, vil til sidst standse ved gnidning, hvorved bevægelsesenergien omsættes til varme i klods og underlag. Vi ser aldrig, at varmen igen sætter klods i gang. De omvendte processer ville ikke stride mod 1. hovedsætning. Men analyserer man dem nærmere ved at genskabe den oprindelige situation ved hjælp af ydre indgriben i form af reversible processer, kan man *beregne* den entropiændring, som er sket ved det irreversible forløb. Man finder da, at entropien af et afsluttet system altid vokser ved en naturlig proces. Ved en dristig almindeliggørelse betragtede Clausius i 1850 hele universet som et afsluttet system, da han formulerede de to hovedsætninger som:

1. Universets energi er konstant.
2. Universets entropi stræber mod et maximum.

udviklingen. De blev oversat, og de fleste fysikere hældte til den anskuelse, at varme var en art væske der, som svensk punch, kaldtes *caloric*.

Men som det kinetiske billede af varmen var væsentligt for formuleringen af den almindelige lov om energiens bevarelse, så gav denne på sin side stødet til en hurtig udvikling og kvantificering af den kinetiske teori. Clausius,

Spectra-Physics

**Spectra
Diode Labs**

LASOTRONIC

uniphase

ANDO

P PHOTON
INC.

**JOBIN
YVON**

PHIR

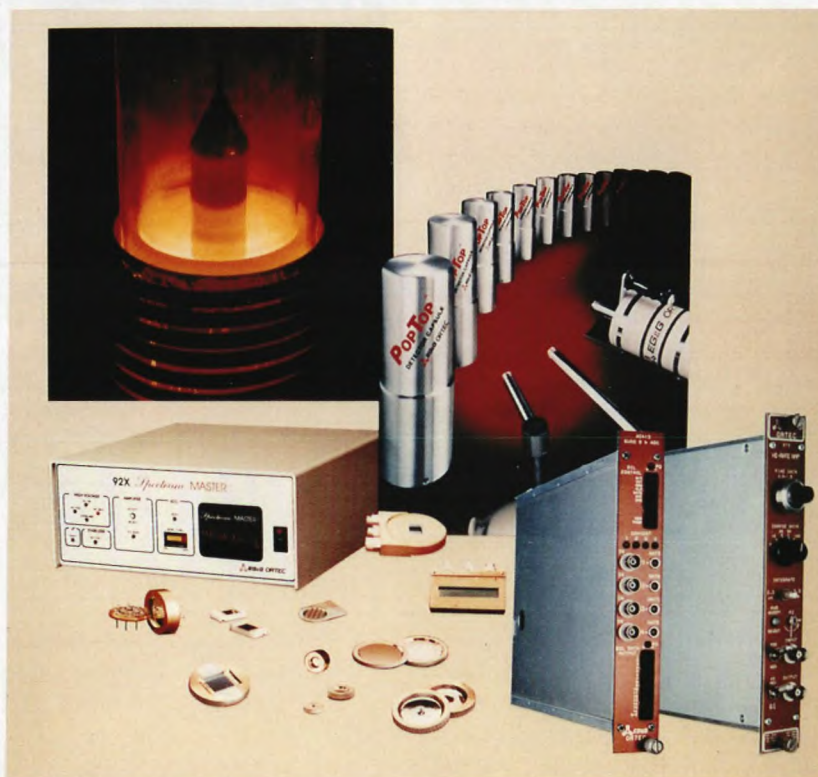
Exciton

burleigh

**LASER
PHOTONICS**

**UNITED
DETECTOR
TECHNOLOGY**

b.b.t.
instrumenter



**TOOLS
of the
TRADE**

- Radiation
- Detection
- Measurement
- Analysis

**EG&G
ORTEC**

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

LSI laser science, inc.

QUESTEK

Quanta-Ray

**micro-
controle**

**EG&G
GAMMA SCIENTIFIC**

**EG&G PRINCETON
APPLIED RESEARCH**

EG&G ORTEC

**EG&G
FIBER OPTICS**

**PHOTON
CONTROL**

BBT Instrumenter ApS
Dr. Olgasvej 6
DK-2000 Frederiksberg

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

ELEKTRONIK
ELEKTROMEDICIN
ELEKTROKEMI
FORSKNING
UNDERVISNING

Box 5: Tilstandsligningen på mikroniveau

Tilstandsligningen for en ideal gas følger af billedet af en gas som molekyler, der tilfældigt bevæger sig i alle retninger under stadige sammenstød indbyrdes og med væggene i en beholder.

Lad et molekyle i gassen have masse m og hastighed $\mathbf{v}$ med komponenterne (v_x, v_y, v_z) . For hver komponent, lad os sige v_x , er den modsat rettede komponent $-v_x$ lige så sandsynlig. Molekylernes middelhastighed er derfor nul. Middelkvadraterne, lad os sige $\langle v_x^2 \rangle$, er imidlertid alle positive og lige store:

$$\langle v_x^2 \rangle = \langle v_y^2 \rangle = \langle v_z^2 \rangle = \frac{1}{3} \langle v^2 \rangle,$$

hvor det sidste lighedstegn kommer af

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2.$$

Trykket på beholderens vægge skyldes det uophørlige bombardement med molekyler. Lad et molekyle ramme væggen med den vinkelrette impuls mv_x . Det hopper elastisk tilbage med impuls $-mv_x$. Men da impuls er bevaret har væggen modtaget impulsen $2mv_x$. De molekyler som per areal og per tid træffer væggen indeholdes i en gassøjle med højden v_x . Antallet af molekyler per volumen er N/V når der er N molekyler i beholderen med volumen V . Kun halvdelen af molekylerne har et positivt v_x . Impuls-overførslen per tid og per areal er det vi kalder trykket P . Følgelig gælder der i gennemsnit, at

$$P = 2m \langle v_x v_x \rangle N/V \frac{1}{2}.$$

Bruger vi endelig $\langle v_x^2 \rangle = \frac{1}{3} \langle v^2 \rangle$ bliver

$$P = \frac{1}{3} N/V m \langle v^2 \rangle \Rightarrow PV = \frac{1}{3} N/V m \langle v^2 \rangle$$

hvor vi genkender tilstandsligningen for en ideal gas ved konstant temperatur. Indfører vi middelværdien af molekylernes kinetiske energi bliver

$$PV = \frac{2}{3} N \left[\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle \right].$$

Vi kan nu indføre temperaturen ved at sammenligne med den eksperimentelt fundne tilstandsligning $PV = nRT$. Har vi netop $n = 1$ mol i beholderen er $N = N_A$ (Avogadros tal). Den kinetiske (translatoriske) energi per molekyle bliver derfor i middel

$$\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} R/N_A T = \frac{3}{2} kT,$$

som gennem Boltzmanns konstant $k = R/N_A$ direkte forbinder temperaturen til den kinetiske energi af et molekyle. For et oxygen molekyle ved rumtemperatur beregner man heraf en middelhastighed på 675 ms^{-1} .

der skrev en artikel med titlen "Den slags bevægelse vi kalder varme", og *James Clerk Maxwell* (1831-79) indså, at det kinetiske billede gav vigtig ny forståelse. Atomer og molekyler blev virkelige objekter med egenskaber, som kunne beregnes. Eksemplet i box 5 viser, hvordan en molekylær størrelse kan bestemmes ved en kombination af det mikroskopiske og det makroskopiske billede af en gas. Det er ikke så sært, at den kinetiske gasteori gav tilro til eksistensen af atomer.

Med den kinetiske gasteori fik sandsynlighedsbegrebet for første gang en vigtig plads i en fysisk teori og førte gennem Maxwells, *Ludwig Boltzmanns* (1844-1906) og *J. Willard Gibbs*' (1844-1906) arbejder en helt ny måde at behandle termodynamikken på: Den statistiske mekanik. Den statistiske mekanik på sin side åbnede vejen til kvantemekanikken. Disse udviklinger, som direkte kan føres tilbage til det almindelige energiprincip, hører til de vigtigste i fysikkens historie. De medførte, at man ved slutningen af 1800-tallet kunne opfatte termodynamikken som den makroskopiske manifestation af stoffets mikroskopiske struktur.

Den statistiske mekanik viser mange nye og overraskende træk ved energibegrebet. så mange, at man måtte inkludere næsten hele den moderne fysik i selv den flygtigste gennemgang. Her skal der kun nævnes en helt ny opfattelse af entropi, som skyldes *Boltzmann*.

Boltzmann bemærkede, at systemer har tendens til at udvikle sig fra ordnede mod uordnede tilstande. Som for eksempel når den ordnede kinetiske energi i et glidende legeme gennem friktion omsættes til varme, hvilket vil sige uordentlig molekylær bevægelse. Det modsatte er aldrig blevet observeret. Processer af denne art er irreversible, skønt de grundlæggende bevægelseslove er fuldstændigt reversible.

Dybest set er årsagen til dette, efter Boltzmann, at antallet af mulige uordnede tilstande er så meget større end antallet af ordnede tilstande. Vindertallet i lotto er måske 12345, men der er 119 andre kombinationer af de samme cifre, som ikke giver gevinst. Det ene vindertal kan repræsentere den ordnede udgangstilstand for et termodynamisk system. De mange flere nitter de uordnede sluttillstande. Boltzmann så her en forbindelse til den kendsgerning, at entropien er en altid voksende størrelse. Entropi, sagde han, er et mål for uorden og entropiens vækst afspejler tendensen mod voksende uorden. Denne sammenhæng fandt sit matematiske udtryk i Boltzmanns formel, som forbinder entropien S af et system med antallet W af tilstande, som er tilgængelige for det: $S = k \ln W$. Denne formel er indhugget på Boltzmanns gravsten på Centralkirkegården i Wien.

Energi i et felt

Energi er et abstrakt begreb, som det er vanskeligt at definere og visualisere. Det samme gælder i endnu højere grad for entropi. Men netop på grund af deres abstrakte karakter er begreberne ikke knyttet til nogen konkret situation. De er af almen natur og medvirker derfor til at skabe et enhedsbillede af den fysiske verden.

Et andet begreb af denne art er det *fysiske felt*. Et felt repræsenterer en fysisk størrelse, som forefindes i et større eller mindre område af rummet. Temperaturfeltet over et landområde, tyngdefeltet omkring solen, det elektriske og magnetiske felt i en radiobølge. Feltbegrebet kan føres tilbage til *Michael Faraday* og blev selve grundlaget for Maxwells formulering af den elektromagnetiske teori. I dag anvendes feltstørrelser inden for næsten alle grene af fysikken og frontlinje teorierne er feltteorier.

Box 6: Energi i det elektromagnetiske felt

En elektromagnetisk bølge er et tidsvarierende elektromagnetisk felt. Feltet er et vektorfelt og kan beskrives ved sin elektriske feltstyrke $\mathbf{E}$ og sin magnetiske feltstyrke $\mathbf{H}$. Feltvektorerne er vinkelrette på hinanden og på bølgens udbredelsesretning.

I den elektromagnetiske teori finder man, at energitætheden i en elektromagnetisk bølge i vacuum er

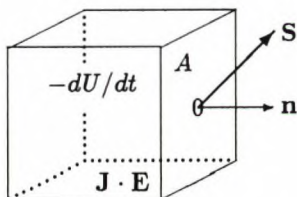
$$u = \frac{1}{2}\epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\mu_0 H^2,$$

hvor konstanten ϵ_0 kaldes vacuum-permittiviteten og μ_0 tilsvarende vacuum-permeabiliteten.

Teorien giver også, at energistrømtætheden, som måles i Wm^{-2} , kan angives som en vektor $\mathbf{S}$

$$\mathbf{S} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}.$$

Denne vektor kaldes *Poyntingvektoren*. Bemærk, at energitætheden u er sammensat af en rent elektrisk del og en rent magnetisk del, mens energistrømtætheden afhænger af både det elektriske og det magnetiske felt. Energistrømmen er således et sandt elektromagnetisk fænomen.



Poyntingvektoren er afgørende for energibevarelse i feltet. Betragt vi et volumen af rummet, som vist på figuren, vil energien U per tid aftage med $-dU/dt$. Denne energi omsættes til Joule varme-effekt $\mathbf{J} \cdot \mathbf{E}$ i eventuelle ledende medier med strømtæthed $\mathbf{J}$ indenfor volumenet og udstråles gennem kassens overflade A ved Poyntingvektorens normalkomponent $\mathbf{S} \cdot \mathbf{n}$.

Enhver udvidelse af energibegrebet har bygget på det, man allerede kendte. I begyndelsen var *vis viva*. Efter megen forvirring blev det afklaret, at det mekaniske energibegreb også måtte omfatte potentiel energi, og at summen

af de to var bevaret. Da man erkendte, at varme var bevægelse af stoffets molekyler, var forbindelsen mellem varme og mekanisk energi nærliggende, og vejen til loven om energiens bevarelse stod åben. På det tidspunkt var kendskabet til elektriske fænomener så veludviklet, at man kunne begynde at tale om energi i forbindelse med elektricitet. Et tidligt eksempel var Joules undersøgelser fra 1841 af varmeudviklingen P (effekten) fra en elektrisk strøm I i en elektrisk modstand R , hvor han fandt relationen $P = RI^2$. Denne relation, som vi i dag kalder Joules lov, blev faktisk fundet *før* loven om energiens bevarelse, som den selv er et godt eksempel på.

Joules lov er blot en enkelt illustration af, at der er energi knyttet til elektriske fænomener: Det kræver energi at lade en kondensator op, det kræver energi at magnetisere et stykke jern og det kræver energi at holde en glødelampe tændt. Det lader sig nemt gøre at beregne energiomsætningen for den slags tilfælde ud fra simple mekaniske billeder. Energien opfattes da naturligt som noget, der kommer fra et batteri eller fra stikkontakten i væggen og som kan transporteres ved hjælp af ledninger. Her overfor står den elektromagnetiske teoris næsten chokerende påstand: *Energien findes i det elektromagnetiske felt*. Energien i en opladet kondensator er ikke potentiel energi af ladninger på pladerne, den er energi i feltet mellem pladerne. Energi kommer ikke til os i ledninger fra elværket, den kommer som energi i feltet omkring ledningerne. Når det gælder den slags dagligdags situationer, kan man måske stille sig skeptisk til værdien af det feltteoretiske billede. Når det kommer til hurtigt varierende fænomener, er der ingen vej udenom.

Lys og radiosignaler er hurtige tidsvarierende forstyrrelser i det elektromagnetiske felt i rummet. Forstyrrelserne er bølger, hvis udbredelse er beskrevet ved de fire differential-ligninger for det elektromagnetiske felt, som Maxwell opstillede i 1873. Udbredelsen af en elektromagnetisk bølge er ikke betinget af noget fysisk medium, den kan fuldt så vel foregå i det tomme rum. Dette er gennem tiderne blevet opfattet som fornuftsstridigt. Vi kender eller kan forestille os bølger, men kun i et materiale af en eller anden art. Bølger i vacuum kan vi ikke visualisere, men deres forekomst kan let iagttages. Lyset fra fjerne stjerner kan registreres med det blotte øje eller med astronomernes teleskoper. Radiosignaler kan styre kunstige satellitter gennem Saturns ringe, fordi de medfører bittesmå energimængder fra en jordisk station.

Det er ikke umiddelbart indlysende, hvordan man finder energien i et elektromagnetisk felt (se box 6). Men ledetråden er energibevarelse. Ved en række matematiske manipulationer af de fire Maxwell ligninger når man frem til en ligning, som fortæller, hvad der sker med et elektromagnetisk felt i i en del af rummet, som afgrænses af en passende kasse. Ligningen fortæller, at der fra kassen forsvinder "noget". Til gengæld opstår der noget andet, som dels består af varme i ledere, som vi kender den fra Joules lov, og dels "noget", som forsvinder gennem kassens overflade. Det første "noget" fortolker man da som den elektromagnetiske energi i kassen, jævnfør den første ligning i box 6. Det

andet "noget" fortolker man som energistrømmen ud af kassen, jævnfør den anden ligning i box 6. Alt i alt en smuk anvendelse af Poincarés formulering: Noget er bevaret.

Poyntings vektor (se box 6) blev indført af J. H. Poynting (1852-1914) i 1884. Op mod år 1900 var energibegrebet dermed udvidet og praktisk talt afklaret inden for alle grene af naturvidenskaben. Men næppe var det næste århundrede begyndt, før overraskelserne væltede ind.

Referencer:

- 1) Thomas S. Kuhn, *Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery*, i M. Clagget *Critical Problems in the History of Science*, University of Wisconsin Press, Madison, 1959.
- 2) Stephen G. Brush, *The Kind of Motion we Call Heat*, North Holland Publishing Company, 1976.

- 3) Frederick O. Koenig, *On the History of Science and the Second Law of Thermodynamics*, i H. M. Evans *Men and Moments in the History of Science*, University of Washington Press, Seattle, 1959.
- 4) William F. Magie, *A Source Book in Physics*, McGraw-Hill Book Company, New York and London, 1935.
- 5) Y. Elkana, *The Discovery of the Conservation of Energy*, Cambridge, Mass., 1974.



Bent Elbek, dr. phil., professor ved Niels Bohr Institutet, Københavns Universitet, arbejder med eksperimentel fysik ved institutets tandem accelerator laboratorium. Har arbejdet med energi og samfundsforhold og skriver i øjeblikket på en lærebog i elektrodynamik.

MODERNE VAKUUMTEKNIK TIL FORSKNING OG INDUSTRI



Finvakuumpumper fra ALCATEL HIGH VACUUM

I 1962 udviklede ALCATEL fiberrotorskiven til finvakuumpumper i stedet for de dengang anvendte blødstøbte stållameller. Nu kunne hastigheden øges til 1500 rpm og pumpen kobles direkte til en asynkron 220 eller 380 volt motor. Vægten reduceredes med op til 75%, og Verdens mest handy finvakuumpumpe til forskning og industri var skabt. Pumperne har i 30 år gennemgået en løbende udvikling, og nu har ALCATEL lagt alle sine erfaringer i den nye PASCAL serie, 5 - 10 - 15 og 21 m³h⁻¹ med et sluttryk ved tør N₂ bedre end 8×10⁻⁵hPa og en vægt f.eks. for 21m³h⁻¹ på 26,8 kg. PASCAL serien er særdeles servicevenlig, og mange af vore kunder vedligeholder selv deres pumper. Vi udfører hurtigt alle reparationer her i Danmark på samtlige typer fra 1962 til i dag.

ALLE FORMER FOR OLIEFRI & OLIESMURTE ROTATIONSVAKUUMPUMPER • FEDTSMURTE TURBOMOLEKULAR- SPIRO- & HYBRIDPUMPER • DIFFUSIONS- & CRYOPUMPER • VAKUUMMÅLEINSTRUMENTER, VENTILER, HV & UHV FITTINGS • HELIUMLÆKSØGERE & 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**

Måling af indre spændinger ved hjælp af neutroddiffraction

Torben Lorentzen, Afdelingen for Materialeforskning, Forskningscenter Risø

Introduktion

Materialeforskning drejer sig i vid udstrækning om at opnå en forståelse af sammenhængen mellem belastninger af komponenter og deformationerne i materialet, og hvorledes denne sammenhæng relateres til et eller flere af begreber som styrke, stivhed, brudforlængelse, udmattelsesstyrke, brudsegthed mm. Målet er en kvantitativ formulering - en model - der kan anvendes i praksis. Med henblik på en umiddelbar industriel anvendelse opstilles ofte en kvantitativ fænomenologisk model, der på simpel matematisk form kan simulere materialets faktiske opførsel. Ofte har en sådan model kun begrænset sammenhæng med de rent fysiske fænomener, der ligger bag deformationerne. Modellerne er ofte rettet mod et specielt materiale, eller mod en begrænset materialegruppe. I den mere langsigtede materialeforskning stiles derimod ofte mod en mere generel forståelse af de mekanismer der er styrende for materialets egenskaber, og modellerne er ofte rettet mod en langt bredere klasse af materialer. Her bygger modelleringen ofte på et kendskab til dislokationer, kornstørrelser, tekstur mm., og der søges en sammenhæng mellem disse mikrostrukturrelaterede parametre og materialets makroskopiske opførsel.

En ting er dog fælles for de to angrebsvinkler og det er "eksperimenter". Modelleringen bygger på faktiske observationer, og der gøres derfor i udbredt grad brug af forskellige eksperimentelle teknikker til undersøgelse af materialernes mekaniske opførsel. En relativ ny teknik i denne sammenhæng er anvendelsen af neutroddiffraction til undersøgelse af indre spændinger. Diffraction er et velkendt begreb indenfor mange grene af fysikken og eksempelvis Bragg-spredning har været kendt siden 20'erne, hvor W.L.Bragg formulerede sammenhængen mellem spredningsvinklen (θ), bølgelængden af den anvendte stråling (λ) og afstanden mellem udvalgte gitterplaner (d_{hkl}) i materialet.

Gitterplanafstande kan altså måles med diffraction, og det er derfor også muligt at bestemme relative ændringer i disse gitterplanafstande, hvilket er indbegrebet af det ingeniørmæssige begreb "tøjring", der er udgangspunktet for beregning af spændinger. Diffractionsteknikker til måling af tøjninger og dermed til bestemmelse af spændinger er interessante i denne sammenhæng, idet teknikkerne er ikke-destruktive og berøringss frie. Endvidere er det interessant at man med en ikke-destruktiv diffractionsteknik kan bestemme residuals pændinger. Ofte giver inhomogene deformationer udover materialets elasticitetsgrænse anledning til et felt af residuals pændinger, der står tilbage i materialet efter aflastning. Det kunne eksempelvis være efter en mekanisk ydre belastning eller efter en temperaturpåvirkning. Residualspændinger er således et særdeles væsentligt begreb i forståelsen af deformationsprocesser.

Røntgendiffraction har længe været anvendt til undersøgelse af residuals pændinger, men denne teknik er dog væsentlig begrænset af strålingens indtrængningsdybde, der typisk kun er nogle få tiendedele millimeter. Ikke-destruktive undersøgelser er således begrænset til tynde overfladelag om end, man ved brug af destruktive ætsnings- og bearbejdningsteknikker anvender røntgenstrålingen til målinger i dybere liggende lag.

Neutroddiffractionsteknikken har derimod den store styrke at strålingen kun i ringe grad absorberes af mange gængse materialer, og gennemtrængningsdybden er ofte en faktor 1000 større end for røntgen. Det er således muligt med neutroddiffractionsteknikken på ikke-destruktiv vis, at kortlægge gitterdeformationer og dermed residuals pændinger i områder beliggende op til flere centimeter inde i materialet.

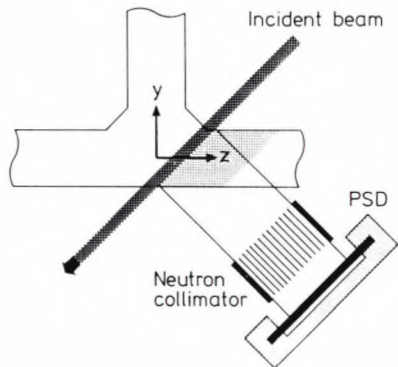
Omkring starten af firserne publiceredes de første eksempler på at anvende neutroddiffractionsteknikken til bestemmelse af indre spændinger^{1,2,3}, og i 1986 påbegyndte "Afdelingen for Materialeforskning" på Risø videreudvikling og opbygning af denne nye måleteknik ved Risø's forsøgsreaktor DR-3^{4,5,6}. På Risø udvikledes et nyt eksperimentelt udsyr baseret på en positionsfølsom neutron-detektor (PSD). Anvendelsen af en PSD bevirker i mange tilfælde en reduktion af tællertiden set i forhold til udstyr baseret på en enkelt detektor, og endvidere simplificeres bestemmelsen af tøjningsprofiler i strukturelle komponenter ofte. Teknikken er idag færdigudviklet og finder nu stor anvendelse indenfor såvel kommercielle industriopgaver som indenfor Risø's egen materialeforskning.

Neutroddiffractionsteknikken er baseret på traditionelle Bragg spredningsforsøg, hvor man gennem elastisk spredning af neutronerne fastlægger udvalgte gitterplanafstande d_{hkl} . Måling af indre spændinger adskiller sig dog på flere punkter fra den traditionelle anvendelse af neutroddiffraction. Ofte studeres lokale variationer af de indre spændinger i små veldefinerede målevolumener, og det er derfor påkrævet med nøjagtige blændearrangementer til afgrænsning af målevolumenet, der typisk er på 10-100mm³. Det er ligeledes påkrævet med en form for automatiseret emnemanipulator, der kan positionere emnet relativt til målevolumenet. Endelig er det væsentligt at bemærke, at der er tale om relative mål set i forhold til det u-deformerede materiale, hvilket kræver kendskab til en reference værdi for gitterplanafstanden i det pågældende materiale.

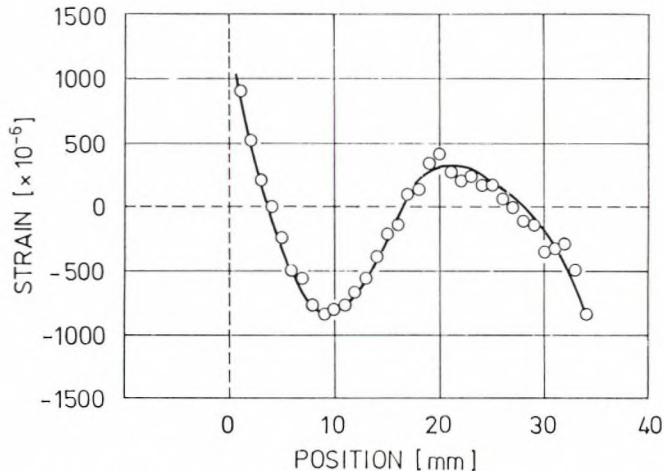
I det følgende gives en række typiske eksempler på anvendelser af neutroddiffractionsteknikken indenfor ingeniørmæssige undersøgelser af strukturelle komponenter samt på undersøgelser af mere basal materialeforskningsmæssig karakter.

Ingeniørmæssige anvendelser

Neutroddiffraktionsteknikken til bestemmelse af indre spændinger er praktisk anvendelig for ingeniøren, der beskæftiger sig med maskinkonstruktion. Det er kendt at temperaturpåvirkninger eller mekaniske påvirkninger under fremstillingen af en komponent, ofte medfører en residualspændingstilstand, der kan være afgørende for materialets mekaniske styrke og stivhed. Ofte er de processer der leder til disse residualspændinger dog så komplicerede, at det kun i de simpleste tilfælde er muligt at beregne residualspændingerne, og ingeniøren har derfor stor interesse i at kunne måle dem.



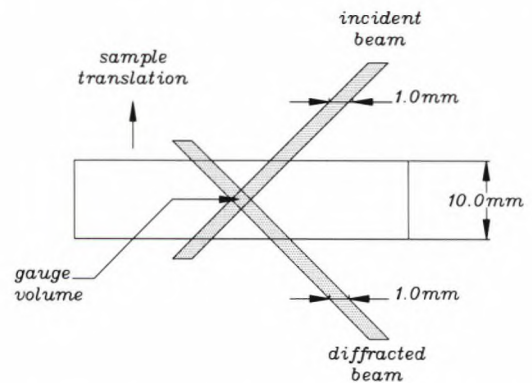
Figur 1 a) Eksperimentel opstilling til måling af deformationer i bundpladen. Ved hjælp af den positionsfølsomme neutroddetektor måles deformationen i en række punkter langs den indkomne stråle samtidigt.



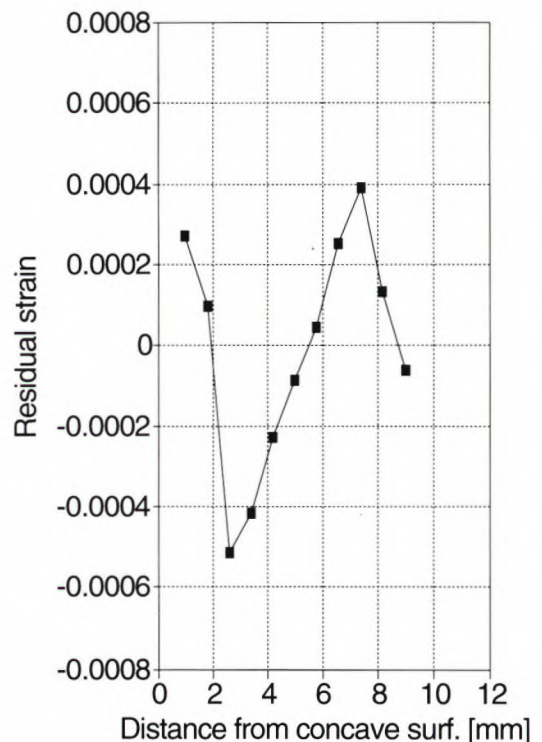
Figur 1 b) Typisk eksempel på en målt deformationsprofil igennem tykkelsen af bundpladen.

Et typisk eksempel på en proces, der ofte leder til residualspændinger er svejsning, hvor temperaturpåvirkning, og det følgende afkølingsforløb kan medføre svært forudsigelige residualspændinger. Et eksempel er fra en undersøgelse af en T-svejsning af 24 mm tykke stålplader. I figur 1a) ses, hvorledes neutronstrålen trænger gennem hele pladetykkelsen og, hvorledes den diffrakterede neutronstråling registreres med en positionsfølsom neutroddetektor (PSD). Denne type måling har været anvendt til en ikke-destruktiv kortlægning af residualdeformationerne igennem

hele pladens tykkelse, og som det ses af figur 1b), er der tale om drastiske deformationer af en størrelse der her svarer til ca. halvdelen af materialets elasticitetsgrænse.



Figur 2 a) Målevolumenet lokaliseres som skæringen mellem den indkomne og diffrakterede neutronstråle, der her begge defineres med blænder af et neutronabsorberende materiale.



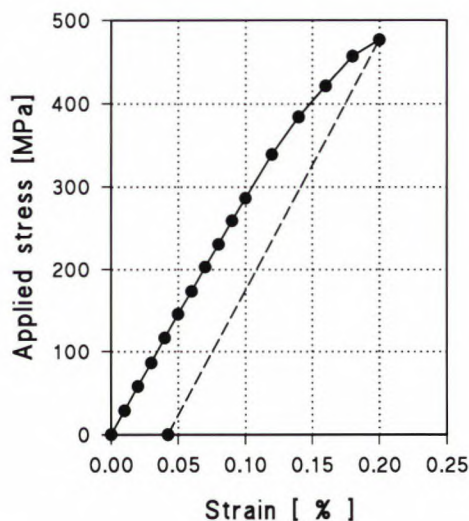
Figur 2 b) Typisk eksempel på en målt deformationsprofil igennem tykkelsen af pladen.

Et andet typisk eksempel er fra en situation, hvor det er den rent mekaniske deformationshistorie, der har bevirket en residualspændingstilstand i materialet. Her er der tale om en 10 mm tyk stålplade udsat for et bøjende moment, der deformerede materialet ud over elasticitetsgrænsen. Neutroddiffraktionsteknikken har her ligeledes været anvendt til at kortlægge residualdeformationerne gennem hele pladens tykkelse. I figur 2a) er skitseret, hvorledes målevolumenet er lokaliseret af den indkomne og diffrakterede neutronstråle,

og i figur 2b) ses et typisk eksempel på de målte residualdeformationer, der her andrager ca. 25% af materialets elasticitetsgrænse. En sådan anvendelse har rent praktisk ingeniørmæssig interesse, men målinger af følgerne af plastiske deformationer i komponenter som plader og rør, finder også anvendelse indenfor evalueringer af materialemodeller for plastisk deformation.

Materialeforskningsmæssige anvendelser

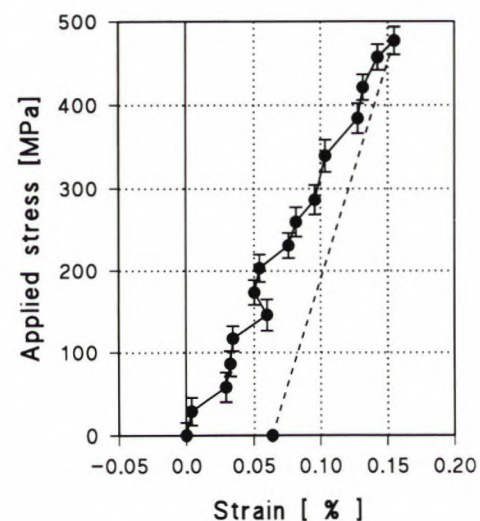
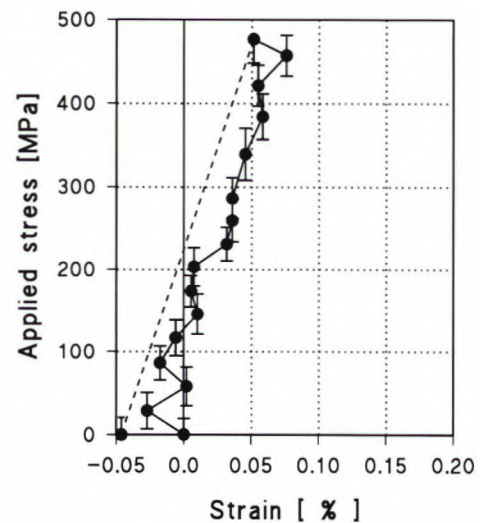
Ved mange anvendelser af mere materialeforskningsmæssig karakter tager man ofte udgangspunkt i at diffraktionsteknikken fokuserer på specifikke gitterplaner. Det er derfor muligt at måle deformationer på forskellige faser eksempelvis i flerfasede materialer eller i egentlige kompositmaterialer.



Figur 3. Makroskopisk materialedeformation målt på emnets overflade med strain-gauge.

Eksempelvis har teknikken været benyttet til studier af deformationerne i de såkaldte Duplex-stål, hvor metallet består af en fladecentreret kubisk fase (Austenit) og en rumcentreret kubisk fase (Ferrit). Ved anvendelse af en trækmaskine, kan der gennemføres forsøg, hvor neutroddiffraktionen benyttes til at studere, de to fasers deformation under en pålagt ydre belastning. I figur 3 ses den makroskopiske materialedeformation målt med en strain-gauge på materialets yderside, og i figur 4a) og b) ses de to fasers gitterdeformationer målt med neutroddiffraktion. Som det ses opnås med neutroddiffraktionsteknikken et betydeligt mere detaljeret billede, der viser mikrostrukturens deformation. Det ses, hvorledes de to faser følger forskellige deformationsforløb og, hvorledes der ved aflastning opbygges restdeformationer, der er væsentlig forskellige fra de makroskopiske restdeformationer, der kan observeres på emnets overflade (figur 3).

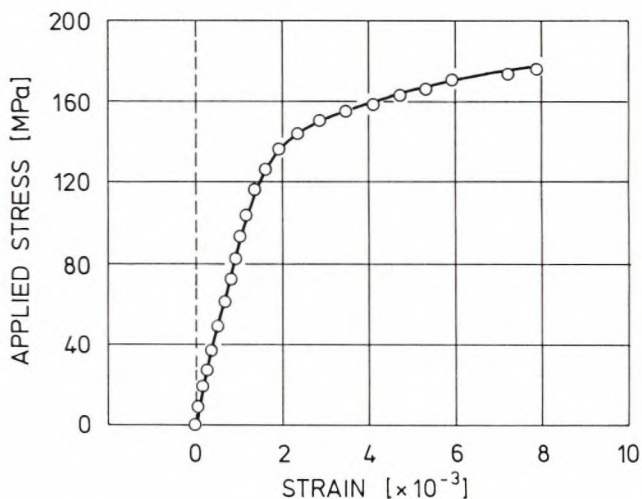
Den kendsgerning at teknikken fokuserer på specifikke gitterplaner, er også udgangspunktet for mange studier af egentlige kompositmaterialer, hvor ét materiale forstærkes med partikler, fibre eller énkrystaller af et andet materiale.



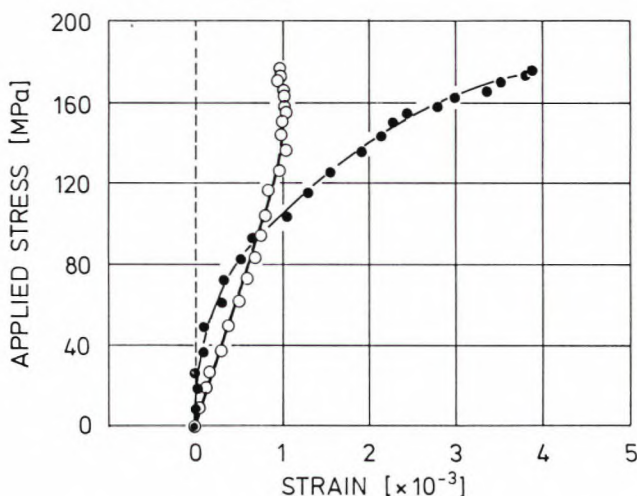
Figur 4. Gitterdeformationerne målt i de to faser ved hjælp af neutroddiffraktion. a) Austenit, og b) Ferrit.

Et typisk system er aluminium (Al) forstærket med énkrystaller (whiskers) af siliciumcarbid (SiC). Neutroddiffraktionsteknikken anvendes her i studier af sådanne materials mekaniske egenskaber, idet man har en mulighed for at måle deformationerne i begge faser. Et eksempel er fra en undersøgelse af en aluminiummatrise tilsat 5 vol% SiC whiskers. Neutroddiffraktionsteknikken har her været anvendt til måling af de to fasers deformationer under en pålagt ydre trækraft. I figur 5a) ses materialets makroskopiske deformation målt med strain-gauges på emnets yderside, og i figur 5b) ses de to fasers gitterdeformationer målt med neutroddiffraktion. Som det var gældende for det egentlige to-fasede materiale, opnår man også ved målinger på kompositmaterialer, et detaljeret billede af de enkelte kompositkomponenters deformation.

I de to sidstnævnte eksempler opmåles de forskellige fasers deformationer under en pålagt ydre belastning ved brug af en trækmaskine placeret på neutronspektrometret. Et



Figur 5 a) Makroskopisk materialedeformation målt på emnets overflade med strain-gauge.



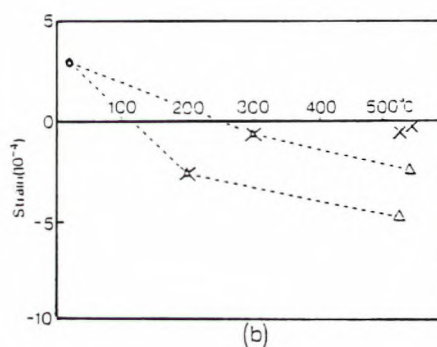
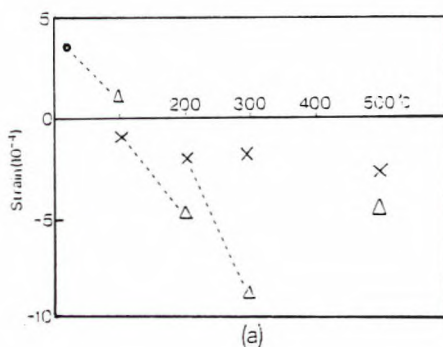
Figur 5 b) Gitterdeformationerne målt i de to faser ved hjælp af neutroddiffraction (●) SiC, og (○) Al.

andet udstyr der finder stor anvendelse er en mini-ovn, der oprindeligt er udviklet til studier af teksturkinetik. Der er imidlertid også stor anvendelse for termiske belastninger i studier af spændinger og tøjninger. Under opvarmning af kompositmaterialer induceres ofte indre spændinger i

materialet på grund af forskelle i de termiske udvidelseskoefficienter i kompositelementerne. Disse spændinger kan være så store at materialet ikke kan "bære" dem i længden, og de relaxeres derfor med tiden. Sådanne fænomener kan studeres med neutroddiffraction. Et eksempel er fra en forsøgsserie på metal matriks kompositmaterialer med enten 5 vol% siliciumkarbid whiskers eller 14 vol% siliciumkarbid partikler⁷. I figur 6a ser resultaterne fra målingerne på materialet med whisker. Første måling er ved stuetemperatur (○), den efterfølgende stiplede linie viser deformationsændringen ved opvarmning. Herefter blev emnet holdt ved den pågældende temperatur i 8-10 timer, hvorved deformationen ændredes fra niveauet mærket med (Δ) til niveauet mærket med (x). Det observeres, hvorledes der eksempelvis sker en drastisk relaxation af deformationen ved 300°C. Sammenlignes dette forløb med målingerne på emnet forstærket med partikler (figur 6b) ses at der her ikke finder nogen relaxation sted før ved 500°C.

Referencer:

- 1) A.Allen, C.Adreani, M.T.Hutchings og C.G.Windsor "Measurements of internal stresses within bulk materials using neutron diffraction", NDT International, Oktober, 249 (1981)
- 2) A.D.Krawitz, J.E.Brune og M.J.Schmank "Measurements of stress in the interior of solids with neutrons". Proceedings fra "28th Sagamore Army Materials Conference", 139 (1981)
- 3) L.Pintschovius, V.Jung, E.Macherauc, R.Schäfer, og O.Vöringer "Determination of residual stress distributions in the interior of technical parts by means of neutron diffraction". Proceedings fra "28th Sagamore Army Materials Conference", 467 (1981)
- 4) T.Lorentzen "Neutron diffraction for non-destructive evaluation of bulk internal stresses". Proceedings fra "5th Scandinavian Symposium on Materials Science (SSMS-5)", København, Danmark, 441 (1989)



Figur 6. Relaxation af termisk inducerede tøjninger ved 100, 200, 300 og 500°C for a) aluminium med 5 vol% siliciumkarbid whiskers, og b) aluminium med 14 vol% siliciumkarbid partikler.

- 5) T.Lorentzen "Bulk Residual Strain Measurements by Neutron Diffraction", Proceedings fra "9th International Conference on Experimental Mechanics", København, Danmark, 1207 (1990)
- 6) T.Lorentzen, Ph.D. afhandling: "Bulk Residual Stress Studies by Neutron Diffraction", Aalborg Universitetscenter (1990)
- 7) P.J.Withers, H.Lilholt, D.Juul Jensen og W.M.Stobbs "An examination of diffusional stress relief in metal matrix composites". Proceedings fra "9th Risø International Symposium on Metallurgy and Materials Science", 503 (1988)



Torben Lorentzen. Civilingeniør fra Aalborg Universitetscenter (84). Gennem sit Ph.D. arbejde på Risø, har han forestået udviklingen og implementeringen af neutrontdiffraktionsteknikken. Han er idag ansat som forsker i Afdelingen for Materialeforskning på Forskningscenter Risø.

Wide-Range Turbomolecular Pumps

Turbo 180 H
Turbo 450 H



Two pumps in one!

Wide-range turbomolecular pumps with additional pumping system on the backing pressure side are the ideal pumps for producing hydrocarbon-free high and ultra high vacuum.

Some special features:

- High backing pressure (up to 13 mbar) allows use of dry membrane-type backing pumps
- Ultimate pressure $< 1 \times 10^{-10}$ mbar at 10 mbar backing pressure
- High volume flow rate up to 1 mbar



Turbomolecular pump system

Holweck molecular pump system

BALZERS

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

Balzers AG
FL-9496 Balzers
Liechtenstein
Tel. 075-441 11
Fax. 075-427 62

Nobelprisen i fysik 1992

Dette års Nobelpris i fysik er blevet tildelt George Charpak for hans udvikling af nye detektorer, specielt multiwirekamre. George Charpak kom til CERN, det fælleseuropæiske laboratorium for højenergifysik, i 1959, og de første multiwirekamre blev udviklet her i 1967-68.

Disse detektorer giver mulighed for at bestemme positionen af elektrisk ladede partikler. De er en uundværlig bestanddel i det eksperimentelle udstyr til partikelfysiske eksperimenter, og har også fundet anvendelser indenfor en lang række andre områder. For eksempel er grundlaget for de scannere, der i dag anvendes på hospitalerne til at lave detaljerede billeder på kryds og tværs af mennesker, et barn af udviklingen af disse detektorer.

De første spor-detektorer

Registrering af spor efter partikler er af afgørende betydning for eksperimenter, der undersøger atomernes indre. Med opfindelsen af tågekammeret i 30'erne og ved opdagelse af at ioniserende partikler efterlod spor i fotografiske emulsioner blev der foretaget en lang række iagttagelser af elementarpartikler og deres opførsel. Begge metoder var langsomme. Det tager tid at studere fotografiske emulsioner og tågekammerbilleder.

Senere fandt tågekammeret sin afløser i boblekammeret og i gnistkamre kunne man fotografere partiklens spor i form af den byge af gnister, som de ioniserende partikler udløste, når de passerede en række plader med højspænding. I disse detektorer begyndte man at udnytte elektroniske detektorer, specielt i form af fotomultiplikatorer monteret på scintillatorer. En scintillator er simpelthen et stykke plastik, hvor en partikel udløser et lysglimt, som ses af fotomultiplikatoren. Fordelen ved at indføre scintillatoren var at man kunne nøjes med at tage billeder når der skete noget interessant i form af at scintillatoren lynhurtigt gav et signal om at "noget" var kommet forbi. Men disse detektorer var også relativt langsomme og det var besværligt at analysere resultaterne fra dem.

Med udviklingen af datamaskiner og hurtig elektronik var grundlaget til stede for en elektronisk behandling af partiklernes bane. Det eneste der manglede var en egnet detektor, der kunne give elektroniske signaler om partiklernes passage, og helst så hurtigt at man kunne registrere en byge af artikler uafhængig af en anden byge af partikler. Løsningen lå i multiwirekammeret.

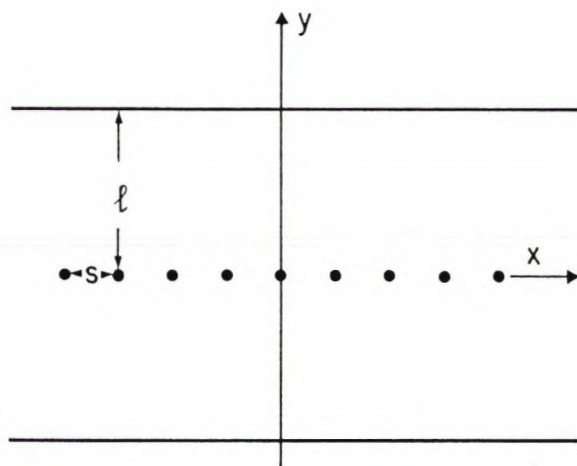
Hvad er et multiwirekammer?

For at beskrive multiwirekamrene, vil vi tage vores udgangspunkt i de velkendte Geiger-tællere. De er bygget op omkring et Geiger-Müller rør, hvor en anode i midten af et cylinderformet metalrør pålægges så stor en højspænding, at der næsten spontant springer en gnist. Når en ioniserende partikel, f.eks. en ion eller en hurtig elektron (β -partikel) passerer igennem røret, vil der frigøres et stort antal elektroner. De vil blive tiltrukket til anoden og give en

strømpuls. I et Geiger-Müller rør dannes der en meget stor byge af elektroner, så man får et meget tydeligt signal. Det kraftige signal bevirker imidlertid at detektoren skal have ret lang tid til at falde til ro, før den er klar til at detektere den næste partikel.

Hvis højspændingen reduceres, vil strømpulsen blive svagere. Til gengæld vil størrelsen af den elektriske strømpuls fra anoden være proportional med partiklens ionisering, og dermed dens energi. Det betyder at man får flere oplysninger, men også at der skal lidt mere elektronik til. På den anden side kan en proportionaltæller klare en betydeligt større strøm af partikler end et Geiger-Müller rør.

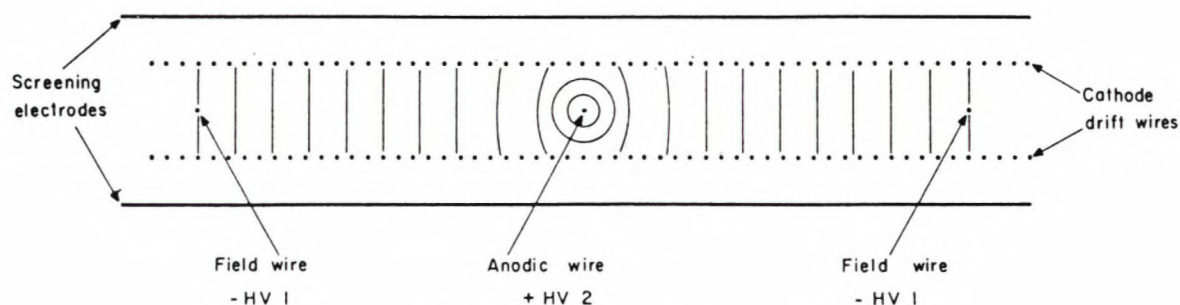
I princippet kan man placere flere proportionaltællere ved siden af hinanden og dermed få en positionsbestemmelse, afhængig af hvilken detektor der er blevet ramt. Det er også blevet brugt, men positionsbestemmelsen kan ikke blive bedre end detektorens diameter, som er på over en centimeter. En oplagt løsning vil være at bruge et gitter af anoder, der sidder tæt ved siden af hinanden. Det er imidlertid ikke så enkel en sag at få en sådan detektor til at fungere, og det er Charpaks fortjeneste at det lykkedes at finde den rette kombination af mekanisk montering af tråde med videre og gasblanding i detektoren, som gjorde dette muligt. Den resulterende detektor er en multiwire proportional tæller, som skitseret på fig. 1.



Figur 1. Principskitse af multi-wire proportional tæller.

Et alternativ: driftkammeret

En anden form for detektor, som Charpak har udviklet, er det såkaldte driftkammer. Det bygger på at det tager tid for elektronerne at drive i et elektrisk felt fra det sted, hvor de rives fri, og hen til anoden. En ydre detektor, i form af en



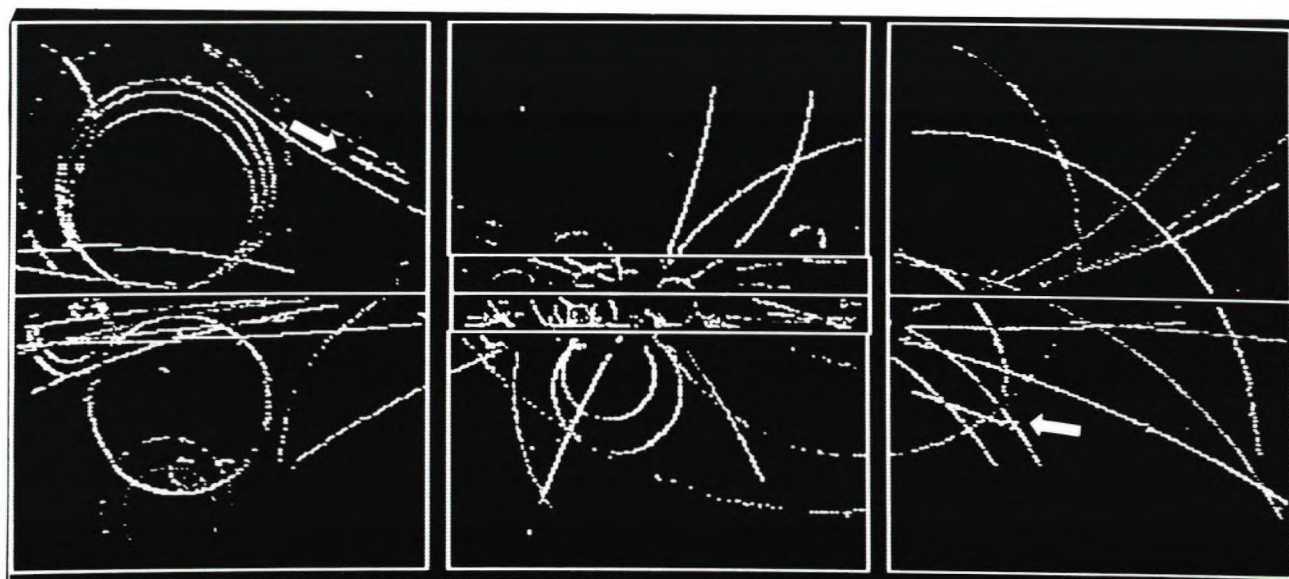
Figur 2. Tværsnit gennem et driftkammer.

scintillator, anvendes til at give et startsignal til et ur, som stoppes af signalet fra anodetråden. Drifttiderne måles i nanosekunder, men det er ikke noget problem for standard-elektronik. I forhold til et multiwirekammer er der betydeligt færre anodetråde i et driftkammer.

Umiddelbart vil elektronerne drive igennem et elektrisk felt med en varierende hastighed, afhængig af feltstyrke med videre, men en speciel gasblanding, som Charpaks gruppe fik blandet sig frem til, har den egenskab at elektronerne stort set driver med konstant fart hen mod anoden, hvorved det er nemt at omregne driftstiden til en position.

Den almindelige anvendelse af et multiwirekammer består i at der registreres om en tråd er blevet ramt eller ej, og derved fås en positionsbestemmelse for partiklen svarende til afstanden mellem anode-trådene – typisk omkring et par millimeter. I et driftkammer er det et spørgsmål om tidsmåling, og her er et typisk resultat en positions bestemmelse på 0,1 millimeter. Det kan dog også lade sig gøre at få en lignende nøjagtighed fra et multiwirekammer ved at anvende det på en anden måde, hvor signaler fra samtlige tråde udlæses og man registrerer deres størrelse. Positionen kan så beregnes som en vægtet middelværdi af disse signaler.

Jørgen F. Bak



Figur 3. Det første spor af en Z partikel fra UA1 eksperimentet på CERN. Sporene er registrerede ved anvendelse af mutiwirekamre. Z-partiklen har givet anledning til de to spor, markeret med pile.

To pointer

i forhold til 'hvad vi skal stille op med fysikundervisningen på de videregående uddannelsesinstitutioner'.

Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, RUC.

Den 21. og 22. maj 1992 afholdt sektionen for uddannelse og undervisning under Dansk Fysisk Selskab en konference i Middelfart, der fokuserede på overgangen fra gymnasiet til de videregående uddannelser og på den indledende fysikundervisning på de højere læreanstalter. På konferencen fandt der en paneldiskussion sted om emnet: "Hvad skal vi stille op med fysikundervisningen på de videregående uddannelsesinstitutioner?" Jeg er blevet opfordret til at nedskrive mit oplæg til diskussionen til KVANT. Da oplægget skulle være kort, bestod det alene af nedenstående to pointer, som jeg finder væsentlige i sammenhængen, medens et forsøg på i en eller anden forstand at nå rundt om emnet var opgivet på forhånd.

Første pointe: Rekrutteringsproblemet er internationalt.

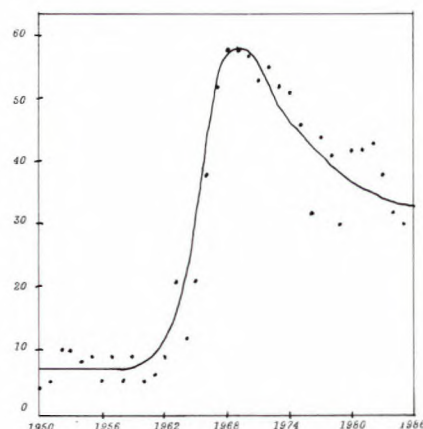
Der har både i det danske fysikmiljø og i dets uddannelsespolitiske omverden været rettet megen opmærksomhed imod rekrutteringen til uddannelsen af fysikere og til fysikprægede uddannelser i øvrigt i de sidste 10 - 15 år. Og det med god grund: Selvom der er mangel på fysikere i det danske samfund, udnyttes den i 60'erne opbyggede uddannelseskapacitet ikke fuldt ud; samfundet får ikke tilgodeset sit behov for fysikkompetencer og fysikmiljøerne på de videregående uddannelser stagnerer.

Situationen har naturligt nok udløst anklager mod både gymnasiet og universiteterne for at være skyldige i rekrutteringsproblemet. Før man hengiver sig til at finde synderbukke eller ride kæpheste er det imidlertid vigtigt, at man gør sig problemets internationale karakter klart.

Figur 1 og figur 2 viser udviklingen i kandidatproduktionen i matematik i henholdsvis Danmark og USA. Både kandidatproduktionerne i fysik og rekrutteringerne til matematik- og fysikstudierne udviser, så vidt jeg husker, helt tilsvarende udviklingsforløb (bortset fra tidsforskydningen mellem rekruttering og kandidatproduktion). Jeg har afbildet tallene for kandidatproduktionen i matematik, fordi det er dem, jeg har haft ved hånden.

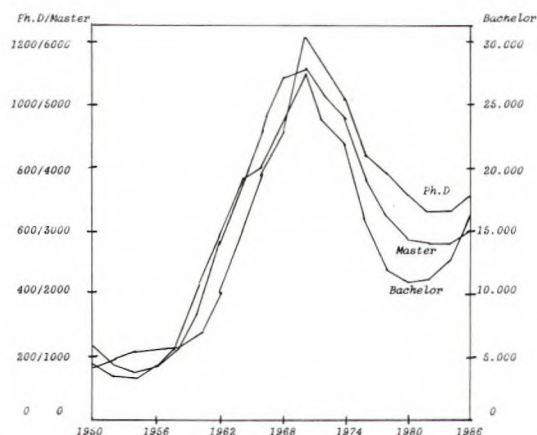
Figurene taler næsten for sig selv: Seksdoblingen i 60'erne efterfulgt af halveringen i 70'erne er fælles for Danmark og USA og kan derfor hverken forstås ud fra særlige forhold i det danske gymnasium eller særlige forhold ved de danske universiteter, forskelligheden i de to landes uddannelsessystemer taget i betragtning. Ifølge samtaler med universitetsfolk i det tidligere DDR kendtes forløbet også der.

Da den for svage rekruttering til fysik (og matematik) altså er et internationalt problem, er udsigterne for forsøg på at løse det ved lokale tiltag derfor formentlig dårlige.



Figur 1. Udviklingen i antallet af kandidater med matematik som hovedfag i Danmark pr. år i årene 1950-1986.

(Kilder: Landsmøderapporten "Matematikken i Danmark" (1981) og rapporten "Kandidater i matematik-, fysik- og kemifagene: "Hvor gik de hen?" (1987).)



Figur 2. Udviklingen i antallet af kandidater i matematik på henholdsvis Ph.D-, master- og bachelorniveau i U.S.A. pr. år i årene 1950-1986.

(Kilde: Notices of the American Mathematical Society 37, s.550 (1990).)

Hvad så? Skal vi blot sætte os med hænderne i skødet og vente på bedre tider? Det mener jeg ikke. Men det er vigtigt, at se omgivelserne klart for at kunne benytte hænderne hensigtsmæssigt. Medvindssituationen for de eksakte fag i 60'erne, hvor der tilsyneladende ikke var grænser for hvor specialiserede og avancerede dele af varesortimentet, der var efterspørgsel efter, var historisk enestående og kommer næppe igen. Hverken i Danmark eller i andre lande. Rekrutteringsproblemet i fysik kan ikke løses ved at drømme sig tilbage til 60'erne. Derimod tror jeg, at fysikmiljøernes stagnationsproblemer bl.a. kan afhjælpes ved at de besinder sig på og får lov til at arbejde i bredden. Både ved i højere grad end nu at orientere sig imod hjælpefagsfunktioner og ved at indstille sig på, at kunderne ikke er så håndplukkede, som de var i 60'erne.

Med den nye gymnasiereform virker det på mig som om fysiklærerne i gymnasiet har vist evne til at omstille sig efter de ændrede forhold, hvorimod der ligger en udfordring til universitetsfysikmiljøerne og deres omgivelser i at sikre, at Danmark ikke bliver blandt de sidste lande, hvor der tages bestik af de anderledes konjunkturer.

Anden pointe: Vi skal vide, hvad det er, vi er gode til, og undervise i det.

Den internationalt udbredte opmærksomhed på matematik- og fysikundervisningen fra folkeskole til universitet i 60'erne hang sammen med en udbredt tankegang a.l.a.: eksakte videnskaber → teknologi → samfundsudvikling. Og ifølge dette skema er der ikke behov for yderligere begrundelse for hverken fysik, fysikere eller fysikundervisning: Fysik er godt, og fysikere og fysikundervisning er godt, fordi fysik er godt. Men der tænkes ikke så skematisk nu. Selvom der selvfølgelig er noget om skemaet, forekommer sammenhænge ikke længere så enkle, at selvbegrundende forklaringer på, hvad fysikundervisning gør godt for, kan stå alene. Især ikke hvis der skal sættes mere i bredden.

Ved gymnasiereformen lykkedes det ikke at skaffe forståelse for sammenhængen mellem matematik og fysik. Hvis matematik forstås som læren om bevisførelse og fysik forstås som læren om naturlove behøver sammenhængen heller ikke at være så tæt endda på gymnasieniveauet. Men hvad hvis nøglekvalifikationen fra den gamle mat.-fys.-gren i gymnasiet (som jeg tror) var træning i formaliserende problemløsning? Ja, så er den kvalificering selvfølgelig blevet svækket, når fysikundervisningen i mindre grad end tidligere kan fungere som en træning i at anvende matematik i ikke-matematiske sammenhænge.

Det samfundsmæssige behov for fysikkompetencer involverer naturligvis både forståelse af Ohm's lov og båndteori for halvledere. Men i bredden er den vigtigste funktion af fysikundervisning måske den ydmyge, at levere øvelsesbaner for formaliserende problemløsning.

Ved gymnasiereformen lykkedes det som sagt ikke at skabe forståelse herfor. En tilsvarende mangel på forståelse er senest oplevet ved den sidestilling af fysik og kemi på højt niveau i adgangsbetingelserne til DTH, som nu truer tilvalgsfaget fysik i gymnasiet. Selvom dele af kemien kan levere matematiske øvelsesbaner på linie med fysik, er det signal, der ligger i sidestillingen af de to fag, efter min mening vildledende, fordi kemi også er så meget andet end den træning i formaliserende problemløsning, der står centralt i fysik.

Hvorfor forstår man os så dårligt? Måske er det fordi vi har forklaret os dårligt? Fysik er ikke bare godt, men gør også godt for noget. Vi skal vide, at vi er særligt gode til formaliserende problemløsning og til at undervise i det. Hvis vi ikke ved det selv, kan vi i alle tilfælde ikke forklare det for andre. Men ved vi det selv? Ja, når fysikere får lov til at bevæge sig ind i andre fag, er vi godt klar over, at det ofte er af den grund. Men vi underviser normalt ikke, som om vi ved det. Sædvanligvis underviser vi i Ohm's lov og båndteori for halvledere og ikke bevidst i problemløsning.

Som illustration af, hvad jeg mener, viser figur 3 to alternative opgaveformuleringer. Opgave 2 er formuleret i den sædvanlige stil, medens opgave 1 er den, der lægger op til træning i formaliserende problemløsning. Når vi ikke plejer at stille opgaver i stil med opgave 1, er det fordi den er for svær. Det er et vanskeligere skridt at oversætte opgave 1 til opgave 2, end det derefter er at løse opgave 2. Og derfor fortygger læreren problemet ved at stille det i opgave 2-udgaven for at sikre opretholdelsen af et pensum-mæssigt højt ambitionsniveau.

I stedet for således at sænke problemløsningsniveauet til fordel for pensumniveauet, kunne man også gøre det omvendte. Altså tilrettelægge pensum på en måde, der tilgodeså et højt problemløsningsniveau i undervisningen. Det ville efter min mening i sidste ende give en bedre fysikundervisning. Det ville give en større bevidsthed i fysikmiljøet om, hvad det er, vi specielt er gode til. Og det ville gøre det nemmere for omverdenen at få øje på det.

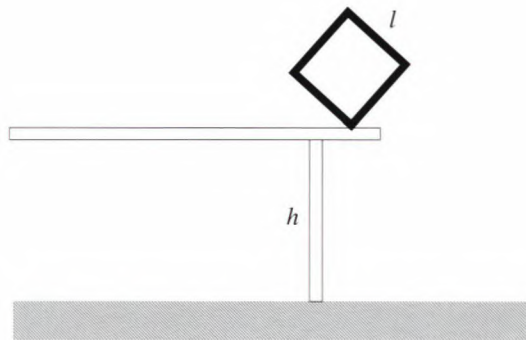


Jens Højgaard Jensen er lektor i fysik ved IMFUFA, RUC. Er uddannet og har haft midlertidig ansættelse ved Københavns Universitet til 1972. Har siden deltaget i opbygningen af RUC bl.a. som dekan for det naturvidenskabelige hovedområde og prorektor. Faglig hovedinteresse i de eksakte fags didaktik og videnskabsteori.

Opgave 1.

Hvem slår sig mest ved at falde ned fra et bord, et barn eller en voksen? Begrund svaret.

Opgave 2.



1) Figuren viser en terning med kantlængden l , der vippes ud over kanten af et bord med bordhøjden h . Massfyllden af terningen er ρ . Det forudsættes, at l er meget mindre end h .

Hvor stor er farten, v , når terningen rammer gulvet?

$$\left[\text{Svar: } \frac{1}{2}mv^2 = mgh \Rightarrow v = \sqrt{2gh} \right]$$

2) Terningen bremses ved stødet mod gulvet op i løbet af stødtiden τ .

Hvor stor en kraft, K , virker under stødet mellem terningen og gulvet?

$$\left[\text{Svar: } \frac{dP}{dt} = K \Rightarrow K = \frac{\rho l^3 v}{\tau} \right]$$

3) Hvordan afhænger trykket på klodsen under stødet af l i tilfælde af fald på henholdsvis spids, kant og flade? τ antages uafhængig af l .

$$\left[\text{Svar: } p \sim l^3, l^2, l \right]$$

Svar på opgave 1:

Den voksne får nemmest blå mærker.

Figur 3. To alternative opgaveformuleringer. Opgave 2 er formuleret i den sædvanlige stil. Opgave 1 lægger op til træning i formaliserende problemløsning.

Havde Niels Bohr virkelig en hestesko over døren til sit sommerhus?

Mogens Esrom Larsen, Matematisk Institut, Københavns Universitet

Man hører ofte den anekdote, at en gæst ved synet af en hestesko over døren til Niels Bohrs sommerhus skulle have spurgt ham: 'Hvorfor har De en hestesko hængende over døren? De er da vel ikke overtroisk?'

Ifølge anekdoten skulle Niels Bohr have svaret: 'Naturligvis ikke, men jeg har ladet mig fortælle, at den bringer lykke til én, hvad enten man tror på det eller ej!'

Men det står til troende, at Niels Bohr ikke havde en hestesko over sin sommerhusdør. Han har i hvert fald benægtet det den 11. september 1962. Derimod havde han hørt det pudsige replikskifte fra den berømte fysiker Georg Gamow, der havde en svaghed for logiske og andre selvmodsigelser. Og Bohr fortalte gerne anekdoten som en vittighed, måske med Gamow som hovedperson. Brevet er gengivet i Iørn Piø, Bank under bordet, Foreningen Fremtiden, København 1963.

I andres genfortælling er hovedpersonen skiftet ud med Niels Bohr selv. Det er et ganske normalt fænomen for anekdoter, når hovedpersonerne mister deres glans, bliver de erstattet af andre berømtheder. Vi kender det jo så godt fra historien om Knud den Store, der forgæves befalede bølgerne at standse deres fremrykning, — de overskyllede alligevel den mægtige herskers fødder. Før Knud den Store blev historien fortalt om Karl den Store, og hvem ved, om han har afløst kejser Augustus?

Gl. Carlsbergvej 15
Valby, København
September 11, 1962.

PROFESSOR NIELS BOHR'S
SEKRETARIAT

Hr. arkivar Iørn Piø
Dansk Folkemindesamling
Det kgl. Bibliotek, K.

I anledning af Deres brev med forespørgsel angående anekdoten om professor Bohr og hesteskoen har professor Bohr bedt mig meddele Dem, at der ikke ligger noget faktisk til grund for denne. Anekdoten stammer fra den amerikanske fysiker George Gamow, og er oprindelig ment som en spøg. Professor Bohr har ved flere lejligheder genfortalt denne, og det er formentlig årsagen til den misforståelse, at historien skulle være sand og endda dreje sig om professor Bohr.

Med venlig hilsen

E. Tanggaard
E. Tanggaard
sekretær

Elektrisk ledende polymerer

Anders Ravn Sørensen, NKT Research Center A/S.

At en organisk polymer kan have elektriske egenskaber som et metal og mekaniske egenskaber som et plastmateriale vil nok være overraskende for de fleste. Ikke desto mindre har det indenfor de senere år vist sig muligt at fremstille materialer som besidder begge egenskaber i et vist omfang.

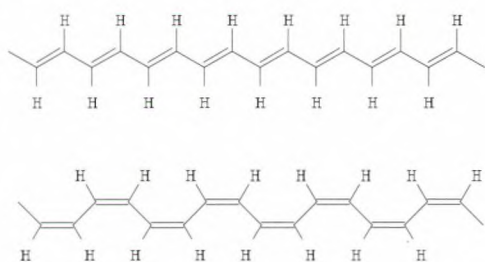
Denne udvikling tog for alvor fart da det i 1977 blev opdaget, at det var muligt at gøre polyacetylen - ofte forkortet PA eller $(CH)_x$ - elektrisk ledende ved kemisk eller elektrokemisk doping¹.

Syntesen af en del af de stoffer der nu kendes som ICP's er ellers ikke af nyere dato. At anilin polymeriserer ved oxidation har således været kendt siden omkring århundredskiftet.

Betegnelsen elektrisk ledende polymerer anvendes om flere forskellige typer af materialer. Naturligvis omfatter betegnelsen materialer som både er en organisk polymer og har elektrisk ledningsevne, disse kaldes også *Intrinsically Conducting Polymers* eller ICP'er. Men også kompositmaterialer hvori ledningsevnen skyldes et indhold af en ICP betegnes ledende polymerer. Endelig anvendes betegnelsen - især i teknisk sammenhæng - om kompositmaterialer som består af en ikke ledende polymer tilsat et ledende fyldstof - grafit, metal fibre el. lign., hvorved kompositmaterialet bliver ledende.

Typer af ICP.

Som nævnt var polyacetylen det første nyere eksempel på at en polymer fremstillet ved polymerisation af en lavmolekylær organisk forbindelse kunne gøres elektrisk ledende. Polyacetylen findes i en cis- og en trans-form som vist i figur 1.

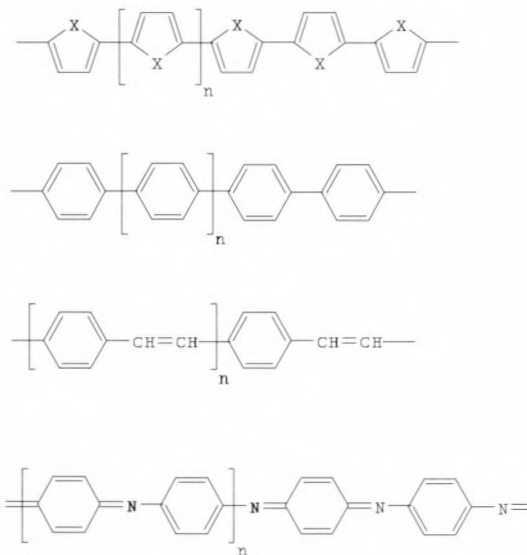


Figur 1. Polyacetylen i transform (øverst) og cisform (nederst).

Som det fremgår af figuren består polyacetylen af en kulstofkæde bundet sammen med skiftevis enkelt og dobbeltbindinger, hvor hvert kulstofatom desuden er bundet til et brintatom. Denne opbygning er afgørende for at polyacetylen kan gøres ledende idet π -elektronerne i kæden kan delokalisere ladningerne hvis man fjerner eller tilfører enkelte elektroner - dette sidstnævnte kaldes doping.

Brintatomerne i polyacetylen kan erstattes af andre organiske grupper, der specielt kan indgå i ringstrukturer,

uden at der derved ændres på at hovedkæden består af alternerende enkelt og dobbeltbindinger; dette er vist i figur 2. Polyacetylen kan således betragtes som en art prototype for ICP's.

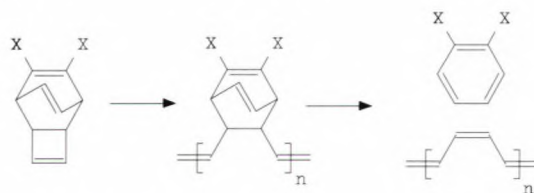


Figur 2. Figuren viser forskellige typer af ledende polymerer: øverst polypyrrol ($X=NH$), polythiophen ($X=S$). Dernæst poly-paraphenylene, poly-paraphenylenvinylene og nederst polyanilin.

Det bør bemærkes, at polyanilin adskiller sig fra de øvrige ICP's ved at have kvælstofatomer som indgår i kæden af alternerende enkelt og dobbeltbindinger.

Fremstilling af ICP's.

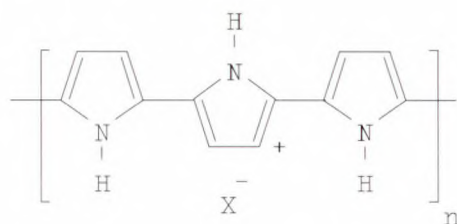
Fremstilling af polyacetylen kan ske direkte ved polymerisation af gasformig acetylen under tilstedeværelse af en katalysator f.eks. $Al(C_2H_5)_3/Ti(OC_4H_9)_4$ eller via en eliminationsproces fra en opløselig precursorpolymer. Se figur 3.



Figur 3. Precursorrute til polyacetylen, $X=CF_3$.

Polypyrrol og polythiophen kan fremstilles ved kemisk eller elektrokemisk oxidation. Til kemisk oxidation anvendes oftest $FeCl_3$ hvorved der dannes pulverformigt materiale, medens det er muligt at fremstille film ved elektrokemisk oxidation. Både ved kemisk og elektrokemisk fremstilling af ICP's vil polymeren fremkomme i oxideret (doped) form

eftersom oxidationspotentialen af den færdige polymer er lavere end oxidationspotentialen af den monomer hvoraf polymeren opbygges. Under reaktionen vil der optages negativt ladede ioner fra reaktionsmediet svarende til graden af oxidation, hvilket vil sige ca. en modion for hver tre heterocykliske ringe.



Figur 4. Ved fremstilling af polypyrrol vil der i den ledende form findes en ladning for hver tre heterocykliske ringe.

Elektrokemisk fremstillede film kan efter fremstillingen reduceres elektrokemisk uden at strukturen nedbrydes. Denne neutrale form vil atter kunne oxideres og reduceres elektrokemisk ved at man påtrykker polymeren forskellige elektriske potentialer.

Polyparaphenylenvinylen og polythienylvinylen fremstilles i en tottrinsproces ud fra henholdsvis 1,4-bis-chloromethylbenzen og 2,5-bis-chloromethylthiophen.

Foruden de ovenfor nævnte ICP's er der grund til at nævne polyalkylthiophen og polyalkylpyrrol der adskiller sig fra polythiophen og polypyrrol ved at være fremstillet ud fra de 3-alkylerede heterocykliske forbindelser. Disse ICP's har en lavere ledningsevne end de usubstituerede polymerer, men til gengæld har de bedre mekaniske egenskaber og er bl.a. opløselige i organiske solventer som CHCl_3 og THF hvilket gør øger deres anvendelsespotentialer.

De her nævnte typer af ledende polymerer er blandt de hyppigst studerede, der findes desuden en lang række af beslægtede typer, som det imidlertid vil føre for vidt at komme ind på her. En oversigt findes f.eks. i *Handbook of Conducting Polymers*².

Ledningsmekanismer i ICP's.

Polyacetylen er den simpleste form for ICP og PA er også det mest undersøgte når det gælder ledningsmekanisme og andre aspekter af teoretiske interesse omkring ICP's. Polyacetylen er derfor valgt til en kort kvalitativ gennemgang af grundlaget for elektrisk ledningsevne i ICP's.

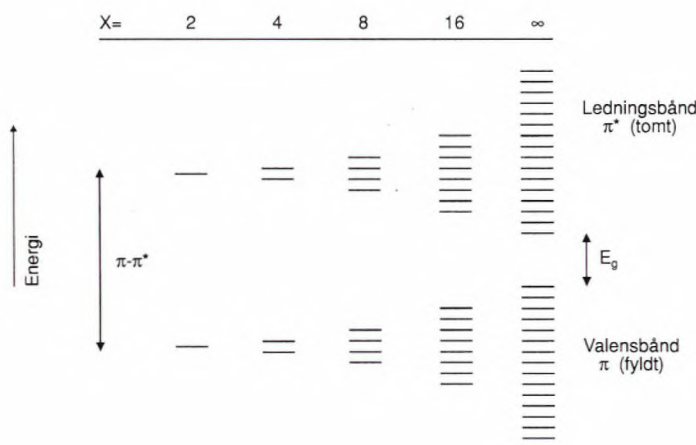
Π -elektronsystemet i polyacetylen kan let delvis oxideres af en lang række oxidationsmidler – jævnfør nedenstående reaktionsskema – ofte anvendes I_2 i dampform eller opløst i CCl_4 .



Ved den viste reaktion ændres ledningsevnen (σ) drastisk fra $\sigma = 10^{-5} \text{ S/cm}$ til $\sigma = 10^3 \text{ S/cm}$. Hvis den anvendte polyacetylen er blevet behandlet således at polymerkæderne ligger orienteret i en bestemt retning er det endog muligt at

opnå ledningsevner på helt op til 10^5 S/cm i strækretningen. Til sammenligning kan nævnes, at kobber har en ledningsevne på omkring 10^6 S/cm .

Forklaringen på denne drastiske ændring i ledningsevnen som følge af doping skal søges i den orbitalopbygning der findes i polykonjugerede materialer som polyacetylen.

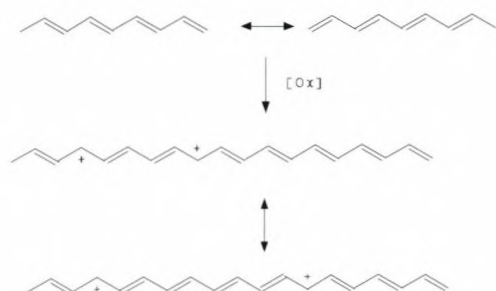


Figur 5. Principdiagram over båndstrukturen i $(\text{CH})_x$ når x stiger fra 2 mod ∞ . (Fra ref. 3).

Polyacetylen kan formelt opbygges ved fortløbende at sammenføje (CH) -enheder der hver indeholder en uparret p_π -elektron. Herved opbygges der når et stort antal (CH) -enheder er sammenføjet dels et fyldt π -bånd (valensbåndet) og dels et ikke fyldt π^* -bånd (ledningbåndet). Energiforskellen imellem det øverste niveau i valensbåndet og det nederste niveau i ledningsbåndet kaldes energigabet E_g . I metaller er E_g nul medens E_g for typiske isolatorer er op til 2,5 eV. Trans polyacetylen er en halvleder med $E_g = 1,4 \text{ eV}$. Polyacetylen i den ikke dopede form har således et fyldt valensbånd og et tomt ledningsbånd. Oxideres polyacetylen jævnfør reaktionligningen ovenfor vil der fjernes elektroner fra valensbåndet som derefter kun vil være delvist fyldt. Dette medfører at elektronerne vil kunne bevæge sig igennem stoffet og den kraftige stigning i ledningsevne efter doping kan observeres. Hvis man i stedet for at fjerne elektroner fra stoffet tilføjer elektroner vil disse være tvunget ind i tilstande svarende til energiniveauer over π -båndet idet dette er fyldt, resultatet bliver igen at der dannes et delvist fyldt bånd med deraf følgende elektrisk ledningsevne. En sådan reduktion af polyacetylen kan udføres med alkalimetaller f.eks. i form af natrium-naphtalid. De opnåelige ledningsevner er dog ikke så høje som det der fås ved oxidation.

Det er væsentligt at bemærke at der i polyacetylen ingen energiforskel er mellem grundstrukturens to resonansformer. Dette bevirker, at hvis der findes mere end én ladning på samme polymerkæde vil molekylets energi, når der ses bort

fra coulombkræfter ikke være afhængig af afstanden mellem de to ladninger.



Figur 6. De to resonansformer af PA har samme energi indhold og giver ved oxidation samme struktur.

Det bevirker at der i polyacetylen med lav dopningsgrad kan dannes et såkaldt solitonbånd beliggende mellem valens og ledningsbåndet. Solitonbåndet dannes når der findes tilstrækkeligt mange ladninger på den enkelte kæde til at disse begynder at påvirke hinanden. Når dette sker vil ladningerne f.eks. kunne spinparres hvorved der dannes spinløse ladningsbærere. π^* -båndet forbliver derimod tomt i den ledende form. At der er tale om spinløse ladningsbærere viser sig ved, at stoffet har høj ledningsevne men kun lille magnetisk susceptibilitet.



Figur 7. Båndstrukturen i polyacetylen efter doping. (Fra ref. 3).

Polyacetylen adskiller sig derved fra de øvrige ICP's, som f.eks. polyheterocykliske stoffer og polyparaphenylen hvor der ved adskillelse af ladningerne samtidig finder en overgang fra benzoid til quinoid form sted. Se figur 8. Denne overgang er energikrævende idet den quinoide form har et højere energinindhold end den benzoide form.



Figur 8. Adskillelse af ladningerne i polyparaphenylen kræver omlejring fra benzoid til quinoidstruktur, vist for bipolaroner.

Anvendelsesmuligheder for ICP's.

Elektrisk ledende polymerer er allerede blevet anvendt til fremstilling af kommercielt interessante produkter. Således har BASF/VARTA udviklet et batteri baseret på polypyrrol

og Bridgestone-Seiko har udviklet og markedsført et genopladeligt polyanilin-lithium-batteri. Sidstnævnte overgår de konventionelle NiCd-batterier mht. opnåeligt spændingsfald, strømtæthed og har en mindre grad af selv-afladning.

Der findes desuden mulige anvendelser af polypyrrol i fremstilling af kondensatorer hvor polypyrrolbaserede kondensatorer bedre bevarer kapacitansen end elektrolytkondensatorer ved høje frekvenser og desuden er mere temperaturstabile end elektrolytkondensatorer⁴.

Af andre potentielle anvendelser indenfor elektronikområdet kan nævnes at det er muligt at anvende ICP's i Metal-Insulator-Semiconductor-Field-Effect-Transistors.

Da de fleste typer af ICP's kun er svagt farvede i den neutrale form men kraftigt farvede eller sorte i den oxiderede form vil den reversible oxidation-reduktion kunne udnyttes til fremstilling af elektrokrome materialer til f.eks. lysskilte etc.

En række af de mest almindelige ICP's f.eks. polyparaphenylenvinylet og polythiophen udviser desuden store tredje ordens optiske effekter (χ^3 -værdier) hvilket gør stofferne interessante i forbindelse med ikke lineær optik.

Ved at fremstille ICP's hvori der er indbygget passende funktionelle organiske grupper er det muligt f.eks. at fremstille ICP's der vil kunne blandes med almindeligt anvendte polymerer som f.eks. polyethylen som derved kan gøres elektrisk ledende selv med et forholdsvis lille indhold af ledende polymer. Sådanne kompositmaterialer vil kunne anvendes til så forskellige formål som feltfordelingslag på højspændingskabler, skærmning mod elektromagnetisk stråling og antistatiske belægninger.

Forskning og udviklingsarbejdet på NKT Research Center A/S inden for elektrisk ledende polymerer omhandler først og fremmest syntese af modificerede former for ICP's og fremstilling af procesbare kompositmaterialer deraf.

Referencer:

- 1) A.G.MacDiarmid, C.K.Chiang, C.R.Fincher,Jr., Y.W.Park, A.J.Heeger, H.Shirakawa, E.J.Louis and S.C.Gau Phys.Rev.Let.,**39**,1098,(1977).
- 2) T.A.Skotheim, Handbook of Conducting Polymers, Marcel Dekker 1986.
- 3) A.G.MacDiarmid, A.J.Epstein, Makromol.Chem., Macromol.Symp. **51**,11,(1991).
- 4) A.Techagumpuch, H.S.Nalwa, S.Miyata, Elektrosensitive Mol.Polym.Syst. **2**,257,(1991).

Anders Ravn Sørensen Civilingeniør fra Danmarks Tekniske Højskole (1990). Afgangsprojekt ved Institut for Organisk Kemi. Derefter ansat ved NKT Research Center A/S, hvor han er i gang med et erhvervsforskerstudium indenfor elektrisk ledende polymerer.

AEG Elektronprisen 1992

Hans Graunholt, lektor ved instituttet for Teleteknik på Danmarks Tekniske Højskole, fik den 29. april 1992 overrakt Elektronprisen ved et festligt arrangement på Divan 2 i Tivoli.

AEG elektronprisen blev stiftet af AEG Dansk Aktieselskab i 1988 med det formål at yde støtte til professorer, lærer og ingeniørstuderende, der ved nyskabelser, forskningsprojekter eller på anden vis yder en bemærkelsesværdig indsats inden for det elektrotekniske område. Prisen består af en skulptur af rav (elektron) og et legat. I anledning af, at uddelingen i år skete for femte gang, var legatet forhøjet til 50.000 kr.

Elektronprisen blev overrakt af industriminister Anne Birgitte Lundholt, som motiverede uddelingen ved blandt andet at sige:

Udviklingen inden for elektronisk kommunikation — tv-, radio- og datatransmission — stiller stadig nye krav til de elektroniske kredsløb, der ligger til grund for opbygningen

af disse forskellige netværk. Inden for det forskningsområde har Hans Graunholt ydet en betydelig indsats ved konstruktion og optimering af elektriske kredsløb.

Hans Graunholt har fortrinsvis beskæftiget sig med udvikling af edb-programmer, som har gjort det muligt at foretage de nødvendige, vanskelige beregninger. Programmet LCP 2 førte allerede midt i 1970'erne til et afgørende gennembrud. Hans Graunholt har endvidere i samarbejde med IBM implementeret programmet i IBM's PC-AT kort, og han har arbejdet med videreudvikling af løsninger til konstruktioner af digitale filtre og til simulering af digitale systemer, som bl.a. anvendes til lagring af musik på CD og DAT.

K.G.Hansen

Edwards High Vacuum Turbomolekularpumper

- ★ 4 basistyper
- ★ High Power DC-motor
- ★ 40 flangevarianter
- ★ Ny EXT E økonomiversion
- ★ 17 modeller
- ★ Lavt støj- og vibrationsniveau



EDWARDS

Edwards High Vacuum er en af verdens førende producenter af vakuum-pumper og -udstyr. Den nye EXT E version gør det nu muligt at anskaffe en Turbomolekular Vakuumpumpe til en fornuftig pris. Kan køles enten med luft eller vand, og kan styres af den normale EXC350 og EXC500 Turbo-kontroller. Edwards High Vacuum er også Dry Pumps, Diff. Pumps, Vakuum måleinstrumenter, Frysetøringsanlæg og Pådampningsanlæg.

Ring for yderligere oplysninger!

Marielundvej 36
2730 Herlev
42 91 75 11

Buch & Holm A/S

Legestuen i Skotland

Jesper Nygård, Fysiklegestuen, Københavns Universitet

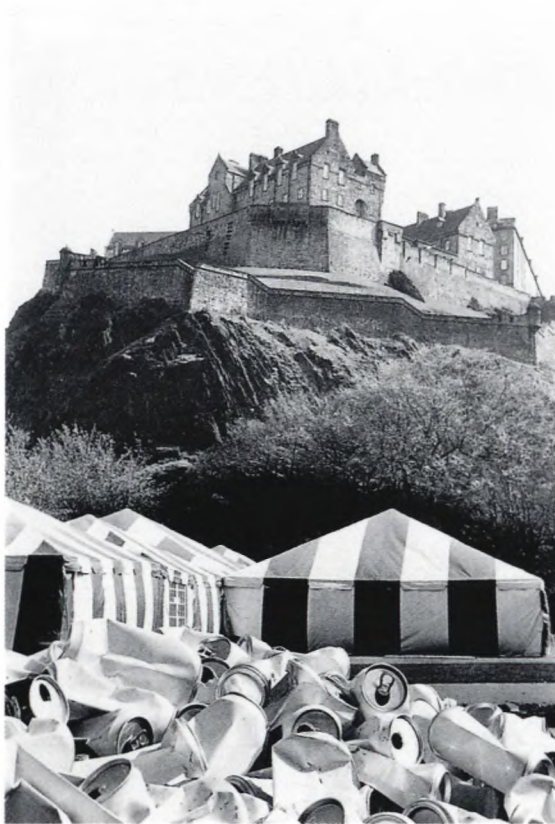
I april måned i år var fem førsteårsstuderende fra den Naturvidenskabelige Legestue på tur til Skotland og nåede på to uger at optræde for i alt 20.000 mennesker på "Edinburgh International Science Festival".

I dette års første nummer af KVANT kunne man læse om "The Flying Circus of Physics" succesfulde deltagelse i "National Science Week" i Holland sidste efterår. En udløber af dette arrangement var en invitation til "Edinburgh International Science Festival", der løber over to uger og er et arrangement af en art, vi slet ikke kender i Danmark: 50 udstillinger, konferencer, 150 foredrag og mange andre arrangementer for såvel fag- som lægfolk kan nok tage pusten fra enhver videnskabsinteresseret.

Vores opgave bestod i at vise enkle og sjove fysik- og kemiforsøg for publikum i "The Science Dome", et stort cirkustelt opstillet i centrum af byen. Teltet var rammen om skiftende udstillinger og workshops, spændende lige fra robotter til boomerang-konstruktion og sæbebobleartisteri.

At forventningerne til os var høje, mærkede vi allerede fra starten - dagen efter vores ankomst stod et kamerahold fra BBC1 klar og samme aften var vi i nyhederne. Publikumsstrømmen viste sig at blive overvældende stor. Institute of Physics i London trådte til som sponsor og sørgede for at vi fik ti skotske fysikstuderende til at assistere os. Syv timer om dagen blev familier og skoleklasser underholdt.

To uger er imidlertid lang tid at optræde. Såvel mandskab som udstyr blev slidt af at være i sving så længe. Der er dog ingen tvivl om, at "The Flying Circus" blev en stor succes. Vi nåede ud til et større publikum end nogensinde før og kan mange erfaringer rigere se frem til kommende store projekter.



Slidt eksperimentelt udstyr fra fysiklegestuens tur til Edinburgh – øldåserne er en vigtig ingrediens i Legestuens demonstrationer.



*APD er
så sikre
på sine
kryo-pumper...*

*der ydes
3 års
garanti.*



APD tilbyder nu den længste garantitid inden for kryo-pumpe-industrien... tre år... dobbelt så lang tid som nogen andre. De teknologiske fordele ved APD's kompressorer, som er specielt designet til helium, kombineret med APD's service- og garantipakke, gør APD's kryo-pumper til de bedste, der findes.

Det simple design giver problemfri drift og let markedservice. APD's driftssikkerhed har stået sin prøve... igen og igen. Mere end 2000 apparater har været på markedet i en periode på 4 til 5 år, og **kun eet eneste** har vist defekter.

Derfor, hvis De foretrækker sikkerhed fremfor driftsproblemer, så ring til:



AAGE CHRISTENSEN A/S
INGENIØR- OG HANDELSVIRKSOMHED

SKELMOSEVEJ 10
DK-2500 VALBY

TELEFON 45 36 44 24 44
TELEFAX 45 36 44 20 24

Matematikundervisningen omkring år 1800 f.v.t.

Mogens Esrom Larsen, Matematisk Institut, Københavns Universitet

De ældste kilder til matematikkens historie dateres til omkring år 1800 f.v.t. De stammer fra to steder i mellemøsten, Babylon og Ægypten. Fra Babylon er bevaret en stor samling soltørrede lertavler med tekster i kileskrift, mens vi fra Ægypten har de to store papyri, Moskva papyrus og Rhind papyrus. Den første er nævnt efter sit nuværende opholdssted, mens den anden er opkaldt efter sin finder, A. Henry Rhind der fandt den i 1858 i Ahmes. Den findes nu i London. Disse tekster er begge ca. 5 m lange og indeholder hhv. 25 og 85 opgaver.

Blandt opgaverne på Moskva papyrus går nr. 14 under kælennævnet "Den største ægyptiske pyramide". Teksten lyder som følger: 6 høj og grundfladen har siden 4, mens topstykket har siden 2, så skal du kvadrere de 4, det bliver 16; du skal gange de 2 med de 4, det er 8; du skal kvadrere de 2, det er 4. Nu skal du lægge de 16, 8 og 4 sammen, det er 28. Nu skal du tage en trediedel af de 28, det er 9 1/3. Du skal gange de 28 med de 2, resultatet er 56. Det er sandelig rumfanget af pyramidestubben!

Vi ville sige, at er højden h , siderne af de to kvadrater a og b , så er rumfanget V givet ved formelen:

$$V = \frac{1}{3}h(a^2 + ab + b^2)$$

Selv om man kender formelen for rumfanget af en pyramide — $b = 0$ i formelen ovenfor — er denne formel for stubben ikke helt indlysende.

Ægypternes matematik bar præg af deres uheldige valg af notation. De havde symboler for tallene, 1,2,3,... osv., så langt fantasien rakte. Dertil havde de føjet en række nye symboler, der bestod af en oval oven over et tal. Det var deres betegnelser for de såkaldte stambrøker, dvs. brøker med tælleren 1

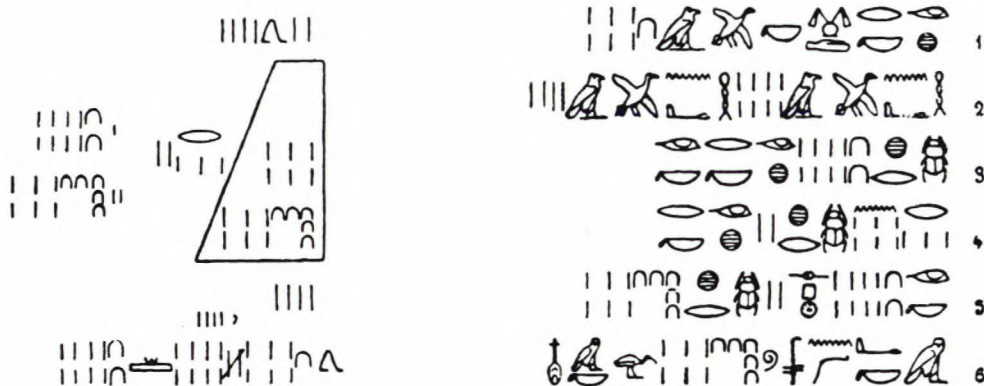
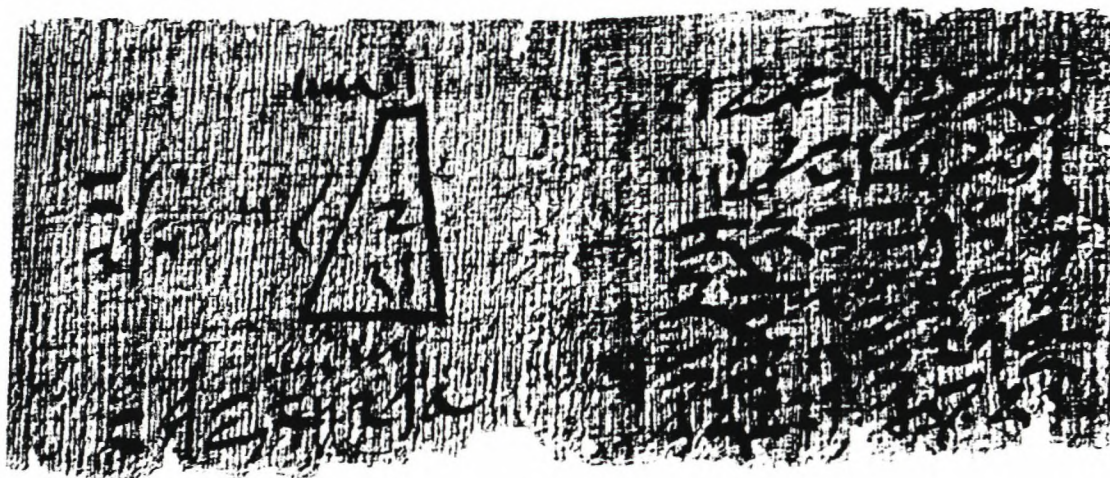


Figure 1. Gengivelse af opgave 14 på Moskva papyrus. Den anvendte formel for rumfanget af en pyramidestub, $\frac{1}{3}h(a^2 + ab + b^2)$, går under kælennævnet "den største ægyptiske pyramide".

$$\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \dots$$

Denne symbolik gav anledning til en stribe opgaver, vi må anse for mere kuriøse end nyttige. Men for dem var det jo et spørgsmål om at kunne skrive tallene.

Hvis vi betragter en brøk som

$$\frac{2}{97}$$

— 97 er et primtal — så vil vi være tilfredse med den. Men ægypteren ønsker den skrevet som en sum af stambrøker — og den nemme løsning med to ens anser han for grim.

Vi forlænger med et tal, der er større end 49, et godt valg er $8 \cdot 7 = 56$.

$$\frac{2}{92} = \frac{2 \cdot 56}{97 \cdot 7 \cdot 8} = \frac{97 + 15}{97 \cdot 7 \cdot 8} = \frac{1}{56} + \frac{15}{97 \cdot 7 \cdot 8}$$

Nu er resten 15, jo netop $7+8$, så vi finder videre

$$\frac{2}{92} = \frac{1}{56} + \frac{1}{97 \cdot 7} + \frac{1}{97 \cdot 8} = \frac{1}{56} + \frac{1}{679} + \frac{1}{776}$$

Vi finder tabeller over disse omskrivninger, som i bedste fald er underholdende, i værste umuliggør al videre regnearbejde.



CBS 29.13.21

Figur 2. Gengivelse af typisk babylonsk reciproktafle fra British Museum. Tavlen er fundet ved Nippur og dateres til ca. 1800. Den indeholder 17 par af et tal og dets inverse. Det skal forstås approximativt; det første par er 2,5 og 28,48; produktet er 59,59. De næste findes ved successiv fordobling og halvering: 4,10 og 14,24 osv.

Babylonerne var heldigere med deres valg af talsymboler. De skrev i kolonner på tavlerne og i hver kolonne et ciffer mellem 0 (tom) og 59. De opdagede, at når de delte et stort tal som 60^3 (= 216000) skrevet 1-0-0 med 2,3,4

osv., så kunne det skrives som 0-30-0, 0-20-0, 0-15-0, osv. Så hvis enheden, typisk time eller grad?, blev delt i 60—dele og evt. 3600—dele, minutter og sekunder?, — så kunne man let angive størrelsen af en brøk. Det første problem var $\frac{1}{7}$, men man prøvede selvfølgelig og fandt den periodiske hexagesimalfremstilling

$$\frac{1}{7} = 0;8,34,17,8,34,17, \dots$$

Man har muligvis ikke erkendt den periodiske natur; det er ikke antydnet på nogen måde, der er kun givet en tilnærmet værdi af tilfældig længde.

Det er velkendt, at Babilonerne gravede mange kanaler, og deres opgaver er da også ofte grøftegraver—problemer. Med det er ikke et tegn på, at deres matematik var forbundet med anvendelserne. Et af mine yndlingseksempler er tavle nr. 4662 i Yale's Babylonske Samling.



Figur 3. Gengivelse af tavle 4662 fra Yale's Babylonske samling. Denne tavle indeholder flere eksempler på løsning af andengradslikninger. Sådanne tavler er svære at datere, men da inflation var velkendt i Babylon, og da arbejdslønnen ofte indgår i problemerne, giver denne et vink. Man regner med at tavlen er fra ca. 1800.

For at forstå teksten må man kende de babylonske måleenheder:

$$\begin{aligned} \text{længde: } 1 \text{ kùš ('alen')} &= 30 \text{ šu—si ('fingre')} \\ 1 \text{ GAR} &= 12 \text{ kùš} \\ \text{areal: } 1 \text{ SAR} &= 1 \text{ GAR}^2 \\ \text{rumfang: } 1 \text{ SAR} &= 1 \text{ GAR}^2 \times 1 \text{ kùš} = 2;24 \text{ kùš}^3 \end{aligned}$$

Teksten på tavlen læses:

Arealet er $7\frac{1}{2}$ SAR og rumfanget er 45 SAR. Jeg lagde længden og bredden sammen og fik 6;30 GAR. Hvad er længden, bredden og dybden?

Når du skal regne det ud, skal du tage den reciprokke til $7\frac{1}{2}$, arealet, og gange med 45 SAR, rumfanget, og du får 6 kùš, dybden.

Tag det reciprokke af dybden og du får 0;10. Gang 0;10 med 45, rumfanget, og du får 7;30.

Halver længden og bredden, som jeg lagde sammen, og du vil få 3;15. Gang 3;15 med 3;15 og du vil få 10;33,45. Træk 7;30 fra 10;33,45 og du vil få 3;3,45. Tag kvadratroden heraf og du vil få 1;45. Læg 1;45 til og træk 1;45 fra og du vil få længden og bredden, 5 GAR er længden og $1\frac{1}{2}$ GAR er bredden.

Tavlen indeholder flere lignende opgaver, men denne er instruktiv, vi kender arealet,

$$l \cdot b = A$$

og vi har summen af længde og bredde:

$$l + b = S$$

Forfatteren foreslår følgende:

$$\begin{aligned} \frac{l+b}{2} &= \frac{S}{2} \\ \frac{l^2+b^2+2lb}{4} &= \frac{S^2}{4} \\ \frac{l^2+b^2+2lb}{4} - lb &= \frac{S^2}{4} - A \\ \frac{l^2+b^2-2lb}{4} &= \frac{S^2}{4} - A \\ \frac{l-b}{2} &= \sqrt{\frac{S^2}{4} - A} \\ l &= \frac{S}{2} + \sqrt{\frac{S^2}{4} - A} \\ b &= \frac{S}{2} - \sqrt{\frac{S^2}{4} - A} \end{aligned}$$

Babylonerne magtede at løse en andengradslikning med positiv diskriminant.

Men mest bemærkelesværdigt er det forhold, at opgaven stilles som den gør. Man forsøger ikke på nogen måde at fremstille problemet som naturligt eller nyttigt — tværtimod.

Opgaven er et drilleri, — jeg lagde længde og bredde sammen, kan du så finde dem igen? Man har umiddelbart glædet sig over, at man magtede at løse problemet.



Mogens Esrom Larsen er ansat ved Københavns Universitets matematiske institut som lektor. Medlem af redaktionen af KVANT.

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. Det gør ikke noget at der optræder enkelte (og enkle) formler i teksten. 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 (se planlagte udgivelsestidspunkter nederst på denne side) 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@dfi.aau.dk

eller på en DOS-formatet diskette, der sendes til

KVANT

c/o Institut for Fysik og Astronomi

Ny Munkegade

8000 Århus C

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 WordPerfect, Word, T_EX eller som en ren ASCII-fil. Hvis det ikke er muligt at aflevere teksten i et af disse formater, kan en papirudgave af artiklen naturligvis anvendes.

Formler og specielle symboler kan indsættes i teksten med WordPerfect eller T_EX. De modtages dog 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 enten i WordPerfect format eller som opstillinger med tabulatorer. Brug ikke for megen energi på at lave "snedige" opstillinger med linier og lignende.

- Overskriften skrives med store bogstaver.
- Forfatternavne skrives med kursiv.
- Afsnitsoverskrifter 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.

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.

Abonnement tegnes ved at skrive til

Lene Körner, Matematisk Institut, Universitetsparken 5, 2100 København Ø